

## AMATÉRSKÁ ELEKTROAKUSTIKA JAKO PLNOKREVNÝ OBOR

A přece mi to nedá, abych se nevrátil aspoň na skok k prvnímu sešitu Radiového konstruktéra. On se totiž ten první sešit vyskytuje v redakci jen v jednom jediném exempláři. I když amatérské radiotechnice fandím, přece jen jsem nečekal (a nikdo z členů redakční rady), že se Radiový konstruktér téměř nedostane do stánků Poštovní novinové služby, ba že se ani nedostane do rukou všech předplatitelů, třebaže je jeho náklad srovnatelný s nákladem časopisu Amatérské radio. Dá se tedy předběžně usuzovat, že zabral, že byl očekáván a že jeho tematika byla zvolena dobře.

A jestliže zabraly tranzistorové přijímače, které se přece už delší dobu průmyslově vyrábějí a jichž je na trhu hotových dostatek, tím spíš se dá očekávat zájem o návody na stavbu tranzistorových zesilovačů. Světem se právě převahuje módní vlna zelektronizované hudby. Zvláštností této vlny oproti jiným módním směrům však asi pravděpodobně zůstane, že se neodvalí. Nanejvýš se zmírní její strmost, až se první hladový zájem nasytí, ale hudba podávaná oklikou přes elektroniku už zůstane trvalou součástí našeho života.

Okolností, které tento vývoj podnítily, se v nedávné době nahromadilo mnoho: polovodiče, umožňující stavbu přenosných přijímačů a magnetofonů, magnetofony, zdokonalení věrnosti záznamu na deskách i na páscích; tím podnícený zájem o zesilovače a reproduktorové kombi-

nace, umožňující kvalitní zpracování signálu; elektrofonické a elektronické hudební nástroje. Ze zcela nedávné doby pak pocházejí tak mocné podněty, jako je stereofonie a big beat.

Průmysl dosud bohužel neprojevil takovou pružnost, aby se včas vyrovnal s poptávkou. Hotové přístroje z tohoto oboru představuje jen neširoká řada zesilovačů, na niž na vstupní straně navazuje několik snímačů a elektrofonických nástrojů, na výstupní straně pak ani jediná reproduktorová kombinace. Spotřebitel tedy příliš na vybranou nemá. Proto stoupá poptávka po návodech na stavbu zařízení, která by vyhovovala požadavku věrné reprodukce (to především), dále různým nárokům na akustický výkon, a poskytovala i možnost různé úpravy signálu (směšování, korekce kmítočtového průběhu, úmyslné zkreslování za účelem dosažení efektního zabarvení, dozvuk, vibráto). A tato poptávka se nasycuje také jen neúplně. Od vydání Radiového konstruktéra Svazarmu č. 10 z roku 1957 již uplynula dlouhá doba. Noví zájemci tento sešit již neseženou a i kdyby – porovnejme jen to, co se považovalo za poslední výkřik techniky tehdy a co se nosí dnes! V časopise Amatérské radio, který se tomuto druhu činnosti v mezidobí Konstruktérů věnoval nejvíce, vyšlo jen několik článků, zabývajících se touto problematikou jen v dílčích pohledech (zesilovače: El. zes. PPP 6/68, 176; Univ. zes. s el. 8/60, 216; Výkonový zes. 10 W

11/60, 324; Tranz. předzes. 2/61, 39; Výkon. zes. 30 W 3/61, 71; Výkon. tranz. zes. 10 W 5/61, 128; reproduktorové soustavy: 1/63, 11; snímače: 7/58, 208; 8/59, 215; 6/64, 165; dozvuk: 3/59, 68; 9/62, 252; 4/64, 101; vibráto: 3/63, 79; 3/64, 82; 1/65, 10).

A tak je podle názoru redakční rady na místě shrnout zase jednou vše, co může sloužit jako vodítko při rozhodování o stavbě elektroakustického zařízení, tj. zesilovačů, pomocných obvodů a reproduktorových soustav vhodných pro hudebníky, orchestry a zpěváky. To má obstarat tento sešit.

Mnohého snad překvapí, že zde nenajde návody na zařízení osazená elektronkami. Měli jsme možnost sledovat diskusi výrobců elektroakustických zařízení na stránkách amerických časopisů. Diskutovalo se tam pro a proti tranzistorům v oboru Hi Fi. Nemohu si pomoci – tato diskuse nepřinesla žádný argument, který by stavěl techniku polovodičů v tomto oboru do nevýhodnějšího postavení vůči elektronkám. Naopak. Na druhé straně je třeba chápat hlediska výrobní ekonomie. Je-li někdo tradičně zařízen na elektronky a nechce si „podtrhnout“ odbyť... Ostatně tyto problémy se projevují i v naší amatérské tvořivosti. Je mi rozhodně příjemnější vytáhnout ze zásuvky elektronku 4654, mám-li ji tam, než si komplikovat život s nákupem výkonových tranzistorů a příslušných součástí pro napáječ. Ale tato úspora znamená oběť pohodlnosti, kterou zaplatím nespokojeností s technickým stavem zařízení v tom okamžiku, kdy je dokončím. Nežlobte se, nejsem tak bohatý, abych si mohl dovolit přepych stavět lacino.

Ostatně dnešní materiálová situace se

velmi liší od situace v roce 1957 a dokonce i v roce 1964. Dnes nejsou problémem tranzistory pro nízké úrovně signálu a dokonce ani výkonové. Máme dostatek elektrolytů velkých hodnot (až 10 000  $\mu\text{F}$ ), výběr dobrých reproduktorů a dokonce i ty nešťastné konektory jsou, a za dostupné ceny. Přestaňme už, abychom to nezakřikli...

Poněkud horší to bude s potřebnými vědomostmi. Dá se očekávat, že po zesilovači k big beatové kytáře zatouží i naprostý laik. Zde je na místě upozornit na značný rozptyl hodnot v parametrech polovodičů a z toho vyplývající nutnost samostatného experimentu i s návodem, velmi podrobně zpracovaným, v ruce. Měřicí přístroj – aspoň Avomet – je nutností, stejně jako výměna zkušeností. A tu je třeba litovat, že nízkofrekvenční radioamatéři se nedokáží sdružovat tak, jako už dávno jejich blízcí příbuzní – amatéři vysílači. Příklad pražské 38. základní organizace Svazarmu, která se specializovala v oboru elektroakustiky a přinesla prospěch všem svým členům, zatím nenalezl v jiných místech následovníky. Je to škoda, kterou bude nutné v dohledné době napravit. Zatím tedy většině zájemců nezbude, než se o radu a výpomoc s přístroji obracet na kolektivní vysílací stanice a na radiotechnické kabiny Svazarmu, které ovšem nejsou v tomto oboru specializovány a možná v některých případech ani nebudou mít dostatek zkušeností, neboť přece jen jde o jinou problematiku. Nemějte jim to za zlé. Amatérská radiotechnika není již dávno jediným jednolitým oborem a nedá se sledovat univerzálně. Důkazem toho je i tento sešit Radiového konstruktéra.

*Zdeněk Škoda*

### Oprava

V prvním čísle Radiového konstruktéra se vloudilo několik chyb. První je v tabulce reproduktorů na II. straně obálky: Opravte si laskavě impedanci u reproduktorů ARZ 085 a ARZ 081, správně má být 8  $\Omega$ . Druhá chyba je v zapojení Nejmenšího amatérského přijímače na světě, na str. 3. Při použití krystalového sluchátka je nutno kolektor napájet přes

odpor (zapojíme jej místo kondenzátoru 50 000 pF) o velikosti asi 1 k $\Omega$ . Další je v obr. 32 na str. 30 v napájení bází  $T_4$  a  $T_5$ : horní vývody odporů 100  $\Omega$  a NTC 130  $\Omega$  mají být připojeny ke středu sekundáru  $T_{r1}$ , podobně jako potenciometr 5 k $\Omega$ . A na str. 20 má poslední odstavec vlevo začínat větou: „Zapojení detektoru je...“

# JAK SI POŘÍDÍM KVALITNÍ ZÁZNAM

Zdeněk Škopán

*Je mnoho lidí, kteří si často za těžce ušetřené peníze koupili magnetofon a očekávali, že budou moci pořizovat nahrávky alespoň takové, jaké slyší v rozhlasu. Byli zklamáni, litovali „vyhozené peníze“, protože je nikdo neinformoval o tom, že natočit pořádný snímek není jen otázkou koupě magnetofonu. Což tiho, ti jsou laici, ale co je více překvapující, i lidé, kteří obsluhují rozhlasové zařízení pro město, závod apod., ve velké většině znají o problematice elektroakustiky asi tolik, nebo jen o málo víc než ten laik. Velká vina, zdá se, padá na odborníky ať již z výzkumných ústavů, nebo vysokých škol v tom, že zatím nebyla vydána publikace, která by z praktického hlediska poradila jak pracovat s mikrofonom v prostoru i s vlastním záznamem. Jestliže je o této problematice někde zmínka, pak je obyčejně velmi strohá a neodpovídá skutečné praxi.*

*Některé základnější otázky se pokusím vysvětlit v tomto článku. Jsou to jen nejzákladnější poznatky, co by každý člověk, pracující s mikrofonom, měl vědět. Nepůjde zde o matematiku nebo nějaké zdůvodňování, protože jednak matematika většinu lidí odrazuje a navíc v tomto případě je velmi složitá a nedává přesné výsledky. Větší význam má cit a zkušenost.*

Myslím, že nebude existovat mezi amatéry ani jediný, který by nebyl a ne jednou požádan nainstalovat rozhlasové zařízení při různých příležitostech, v různých podmínkách, často za použití i různého technického zařízení, nebo který by nepracoval s magnetofonem tak trochu profesionálně. Každý z nich zjistil, že na oko jednoduchá věc tak úplně jednoduchá není. Např.: má se instalovat rozhlasové zařízení v sále kulturního domu pro schůzi s tím požadavkem, aby bylo dobře slyšet nejen hlavního řečníka, ale i předsedu schůze. A ejhle, „ono“ se to nedá zesílit, protože se „to“ váže. Řečník musí mluvit do mikrofonu z malé vzdálenosti, předsedu není skoro slyšet. Nebo jiný příklad: přijdou za vámi soudruzi ze závodního orchestru a prý natoč nás na Soneta. Sonet je magnetofon celkem slušné úrovně a kvality, ale ten snímek, který se natočí, obyčejně slušné kvality není. Čím to je? Obyčejně se začne hubovat na mikrofón, magnetofon, špatný sál apod. Na všech těchto stížnostech něco je, zvlášť když uvážíme, že kritika výsledku bývá obyčejně větší, než pochopení různých vedoucích složek na případné zdokonalení technického zařízení. Ale kde je hlavní příčina? Vezměme si to pěkně po pořádku. Tak nejprve *mikrofon*.

Jak je známo, rozlišujeme mikrofony jednak podle způsobu přeměny akustické energie v energii elektrickou a jednak podle druhu směrové charakteristiky (změna citlivosti mikrofonu v závislosti na směru přicházejících zvukových vln – jak a odkud mikrofón „bere“). Tato závislost je poměrně málo známa a proto si rozdělíme mikrofony nejprve podle tohoto hlediska.

Tak tedy. Podle směrové charakteristiky rozlišujeme mikrofony s charakteristikou kulovou, osmičkovou a kardioidickou.

*Kulovou* charakteristiku mají takové mikrofony, u nichž není citlivost (výstupní napětí) závislá na směru dopadajícího akustického vlnění. Toto je ovšem ideální stav. Vlivem mechanického uspořádání celého systému mikrofónu se dostává membrána v určitém směru a pro určité kmitočty do „stínu“ celého systému. V praxi to znamená, že mikrofony mají skutečnou všesměrovou charakteristiku jen pro střední a nízké kmitočty. Směrem k vyšším kmitočtům se směrová charakteristika zužuje, takže pro nejvyšší kmitočty jsou to vlastně mikrofony *směrové*.

Tyto mikrofony je výhodné použít všude tam, kde chceme, aby záznam nebo přenos působil velkým prostorem. Musí

se dát pozor, na možnost vzájemného ovlivnění mikrofonů, nebo mikrofonu a reproduktorů. Do uzavřených a malých prostorů pro přenos mluveného slova, tzv. místní reprodukce, se tyto mikrofony nehodí, protože nedovolují větší zesílení (nastává nebezpečí akustické vazby). Kulové mikrofony se musí umístit poměrně blízko u zdroje akustického signálu a musí být natočeny membránou k němu.

Mikrofony s charakteristikou *osmičkovou* jsou tzv. mikrofony rychlostní. Vyskytují se vlastně jen jako profesionální, nebo poloprofesionální typy mikrofonů (páskový, kondenzátorový). V běžné amatérské praxi se s těmito mikrofony vlastně nesetkáváme.

Mikrofon tohoto druhu je citlivý na akustické vlny dopadající ze dvou stran, vzájemně natočených o 180°. Používá se pro záznam dialogů herců, když stojí řečníci proti sobě a mikrofon mezi nimi. V hudebních nahrávkách tohoto mikrofonu raději nepoužívejte, zvláště snímáte-li orchestr více mikrofony. Tyto mikrofony se totiž ovlivňují ze všech nejvíce. Když nic jiného nezbývá, použijte jej pro snímání kytary a basy, nebo jen pro klavír, nebo jako celkového mikrofonu. Vhodný je pro záznam slova.

Posledním typem směrové charakteristiky mikrofonu je *kardioida*. Je to označení speciálního směrového mikrofonu. Tento druh mikrofonu je pro amatéra nejvhodnější. Mikrofon je vlastně nejvíce citlivý na akustické vlny dopadající kolmo na jeho membránu. Tím je dána malá citlivost na okolní prostor a na akustickou vazbu. Při snímání orchestru se i poměrně velký počet mikrofonů málo ovlivňuje, což umožňuje nastavit a vyrovnávat poměry mezi jednotlivými skupinami při mixáži.

Podle způsobu přeměny akustické energie v energii elektrickou rozeznáváme různé mikrofony. *Uhlíkové* mají ve většině případů nevhodné vlastnosti z hlediska citlivosti, frekvenčního rozsahu a dynamiky. Směrovou charakteristiku mají převážně kulovou. Pro náročnější požadavky záznamu nebo přenosu nepřicházejí vůbec v úvahu.

Kvalitnější mikrofon je mikrofon *piezo-*

*elektrický*, krátce *krystalový*. Ten má příznivější vlastnosti zvláště pokud se týká dynamiky a citlivosti. Výrobně je poměrně jednoduchý a proto levný. A právě nízká cena je snad hlavním důvodem, proč je tento mikrofon mezi amatéry nejrozšířenější. Povězte si tedy o něm trochu víc.

Krystalový mikrofon je tedy pro amatéra vhodný jednak pro svou láci a dále pro poměrně vysoké výstupní napětí, které se u membránových typů pohybuje mezi 3 ÷ 5 mV<sub>μb</sub>. Bez zvláštních potíží je tento mikrofon schopen vybudit třístupňový elektronkový zesilovač. Dynamika přenosu je vlastně dána dynamikou zesilovače a reproduktoru. Toto jsou ovšem jeho kladné stránky. Nepříznivá je u tohoto mikrofonu poměrně vysoká výstupní impedance (řádově MΩ), což se nepříznivě projevuje jednak ve sníženém odstupu rušivého pozadí od vlastního signálu na vstupu zesilovače a jednak v omezení kmitočtové charakteristiky v oblasti vysokých kmitočtů následkem působení kapacity kabelu. Prakticky není možné použít tohoto mikrofonu, má-li být propojen se zesilovačem kabelem delším než 50 m.

Další nevýhodou tohoto mikrofonu je jeho velká citlivost na otřesy a nárazy, které mohou snadno způsobit jeho trvalé znehodnocení.

Je proto třeba s krystalovým mikrofonem zacházet velice opatrně. Nevystavovat ho velkým nárazům a chránit před nimi hlavně membránu, popřípadě samotný krystal. Krystalový mikrofon je citlivý i na okolní teplotu. Teploty nad 30 °C už u některých krystalových výbrusů mohou způsobit vnitřní pnutí a tím posun rezonance celého systému, což se nepříznivě projeví na kmitočtovém průběhu. Nevystavujte proto mikrofon velkým teplotám, např. v létě na přímém slunečním světle.

Velkým problémem, který nejvíce omezuje použití tohoto mikrofonu, je jeho kmitočtová charakteristika. Není v žádném případě lineární, ale vykazuje vysoký zisk (často o 15 ÷ 20 dB) u vyšších kmitočtů. Vlastní vrchol převýšení je dán převážně rezonančním kmitočtem celého systému (membrána, táhla, krystalové dvojce); tento kmitočet je vlivem tuhosti membrány a hlavně dvojčete poměrně

dosti vysoký (pohybuje se od 3 do 7 kHz). V praktickém použití to znamená, že tento mikrofon se vůbec nehodí pro kvalitní přenos nebo záznam hudby – reprodukce zní nepřírozeně, tak trochu skleněně. Zato se tento mikrofon může použít při přenosu slova všude tam, kde předpokládáme špatné akustické vlastnosti prostoru (velká prostranství), reproduktorů (směrové, plechové reproduktory), velký hluk v místě poslechu a nedokonalé technické zařízení (omezený zisk a kmitočtový rozsah zesilovače). U mluveného slova se totiž příznivě projeví ono převýšení u výšek. Tím jsou zesíleny sykavky, které vlastně určují srozumitelnost řeči. Musíme si ovšem uvědomit, že krystalový mikrofon je mikrofon většinou všesměrový, tudíž bere ze všech stran stejně. Pozor proto při umísťování mikrofonu a reproduktorů. Do uzavřených prostorů a pro záznam slova není tento mikrofon nejvhodnější. Pro hudbu, jak již bylo řečeno, se nehodí vůbec.

V profesionálních provozech jako je rozhlas, televize, film, studia Státního hudebního vydavatelství, se používá kvalitních mikrofonů *dynamických a kondenzátorových*.

To jsou další druhy mikrofonů, o kterých si něco povíme. Dynamické a hlavně kondenzátorové mikrofony mají především výhodnou kmitočtovou charakteristiku, která je vlastně lineární (jen s malými nepřesnostmi) až do 10 kHz a není zvláštností mikrofon, který „jde“ do 16 nebo 20 kHz při odchylkách menších než  $\pm 6$  dB. Je pochopitelné, že s těmito výsoce kvalitními mikrofony se pracuje trochu jiným způsobem, než s takovými typy, se kterými se setká normální smrtelník – amatér. Přesto bych zde chtěl říci tolik, že dynamický mikrofon, ať už cívkový, nebo páskový a kondenzátorový mikrofon, jsou nejkvalitnějším druhem mikrofonů. Je třeba si uvědomit, že mikrofon, jakožto první článek celého řetězu, je nejvíce namáhán a také nejvíce ovlivňuje celkovou kvalitu přenosu. Nemělo by se tedy při jeho pořizování „koukat na korunu“. Dobrý mikrofon se zaplatí sám tím, že budete moci pořádit přenos nebo záznam jakéhokoliv druhu pořadu se slušnou kvalitou a to je mnohdy

neocenitelná pomoc. Zvláště závodní kluby by se měly postarat o vybavení rozhlasové aparatury kvalitními mikrofony. Problém je ovšem v tom, že se jedná převážně o mikrofony z dovozu.

Naše mikrofony (dynamické cívkové) nemohou zaručit kvalitní přenos hudby. Je to dáno jednak omezeným kmitočtovým rozsahem s velkou tolerancí, slabým magnetem a celkovým provedením mikrofonu (mikrofon má velký kryt, tím narušuje volné akustické pole a vznikají za ním stíny akustických vln).

Přes tyto nevýhody je možno říci, že pro převážnou většinu amatérů a závodních klubů i rozhlasových ústředí jsou současné typy dynamických cívkových mikrofonů Tesla nejkvalitnějším mikrofonem. Jejich směrová charakteristika je široká kardioida. Velké uplatnění najdou tyto mikrofony při místním přenosu v uzavřených sálech a pak při magnetofonovém záznamu.

Tím jsme se dostali k dalšímu problému, které zde probíráme. Je jím *magnetofon*.

Nejrozšířenější typy magnetofonů jsou magnetofony typu Sonet, Sonet Duo nebo Sonet B3. Jen v malé míře najdeme starší typy jako Dněpr, MGK 10 nebo zahraniční Saja, Telefunken, Grundig, Philips aj. U každého magnetofonu je podrobný popis obsluhy a nemá proto smysl se zde zmiňovat o obsluze každého typu zvlášť. Několik všeobecných rad bych zde však chtěl přece jen říci.

Často jsem se setkal s tím, že pořady rozhlasu po drátě nebo vůbec rozhlasu i televize se natácejí tak, že se mikrofon umístí před reproduktor přijímače. Tento způsob je velice nekvalitní. Záznam je zkreslen jednak přenosovými vlastnostmi reproduktoru a skříně přijímače, místností a hlukem prostředí a konečně samotným mikrofonem.

Každý typ magnetofonu má kromě mikrofonního vstupu ještě alespoň jeden vstup buď stejně citlivý, nebo určený pro silnější zdroj signálu (obvykle pro gramofon – 100 až 150 mV). Do tohoto vstupu připojte přímo nízkohomový výstup starších přijímačů, nebo u novějších využijte diodového výstupu. Rozhlas po drátě připojte na vstup magnetofonu přes

převodní transformátor, popsany v AR č. 3 ročník 1964.

A na závěr několik všeobecných rad.

Nechtějte na nikom, ani na technicích rozhlasu, televize, nebo jiných profesionálních provozů, aby vám dali nějaké „recepty“, – když chceš natočit to, udělej ono. To nejde. Každý případ je jiný a chce vlastní řešení. Kvalita záznamu hudebních těles je především závislá na prostoru. Velký orchestr není možné točit v malé místnosti, kde jsou hudebníci namačkáni jako sardinky. Zrovna tak špatný výsledek dává plenér – orchestr venku, na volném prostranství. V prvním případě je záznam nejasný, nástrojové skupiny jsou slity a celek působí spíš chaosem než hudbou. V druhém případě je zvuk „suchý“, bez barvy a lesku. Celá řada detailů se ztrácí v poměrně velkém hluku, který v každém volném prostranství je. Nejlepších výsledků můžete dosáhnout v koncertních sálech. Vyhoví už prostor o přibližném objemu 1200 m<sup>3</sup>. Je dobré si pamatovat zásadu, že čím větší orchestr, tím větší má být i sál.

Je pochopitelné, že v takovém sále nemůžete umístit mikrofon někam ke stropu a natáčet orchestr. U tanečních orchestrů se snímá zvuk po tzv. sekcích. Každá skupina nástrojů (v malém obsazení, např. dixieland, každý nástroj) má vlastní mikrofon, který je umístěn poměrně hodně blízko dané skupiny. Je to dáno víceméně zásadou, že v jazzu má každý nástroj znít konkrétně. Nebojte se umístit mikrofon blízko i u takových nástrojů, jako trubka nebo pozoun. Je pochopitelné, že tento mikrofon bude dávat větší napětí a proto by mikrofonní zesilovač měl mít možnost regulace zisku, aby nenastalo zkreslení modulace, dříve než přijde signál na hlavní potenciometr hlasitosti. Mám-li uvést alespoň názorné rozložení mikrofonů při natáčení průměrného tanečního orchestru, mělo by to vypadat asi takto:

1. mikrofon – saxofony, 2. mikrofon – pozouny, 3. mikrofon – trubky, 4. mikrofon – bicí nástroje, 5. mikrofon – basa, 6. mikrofon – klavír + elektrofonická kytara.

V případě zpěvu by sólista zpíval na zvláštní, v pořadí 7. mikrofon.

V rozhlase se zpěv natáčí tzv. playbackem, tzn. že snímek bez zpěváka se re-

produkuje z 1. magnetofonu ve studiu pro zpěváka, popřípadě pro celý sbor, který podle tohoto tzv. základního snímku zpívá. Jeho zpěv je v režijním stole přímíchan do základního snímku a takto smíchaný konečný snímek se natáčí na 2. magnetofon. Tento způsob je výhodnější hlavně proto, že zpěvák může zpívat v úplně odlišném prostoru, než v jakém hraje orchestr.

Dechové orchestry se snímají způsobem trochu odlišným. Zde můžeme použít tzv. celkového mikrofonu, který umístíme tak, aby z co nejmenší vzdálenosti „zabral“ celý orchestr. Pomůže zde představa mikrofonu jako objektivu fotografického přístroje. Těsně pod mikrofon umístíme do kruhu všechny dřevěné nástroje. Ostatní nástroje do většího půlkruhu za dřeva. Pozor na nástroje, jako je tuba, aby hrály opravdu korpusem směrem k mikrofonu.

Klavír se nejvýhodněji snímá tak, že se otevře na „celou nohu“ – u křídla, nebo se odkryjí obě desky – u pianina (horní i přední) a mikrofon se umístí 1 ÷ 2 m před klavír tak, aby byl blíže u kratších strun. Celý klavír natočíme kolmo na úhlopříčku místnosti – odstraníme tím nejmenší možnost vzniku stojatých zvukových vln v místnosti.

Někdy se stává, že záznam klavíru nebo kytary je roztřesený. Je to způsobeno tím, že tento druh nástrojů má zvláštní průběh náběhu a doznívání jednotlivých tónů. V podstatě se jedná o úhoz na strunu – její prudké rozechvění a pak poměrně dlouhé doznívání. A právě toto doznívání je charakteristické pro ten který nástroj a klade největší nároky na rovnoměrný posuv pásku v magnetofonu. Každá sebemenší nerovnoměrnost v posuvu rozechvěje doznívání tónu, což se v reprodukci projeví jako nepříjemné tremolo. Nemusí to být vždycky jen špatná mechanika magnetofonu. Často způsobí tremolo velká excentricita cívek, nebo vytaháný pásek, který poznáte podle toho, že se při chodu vlní.

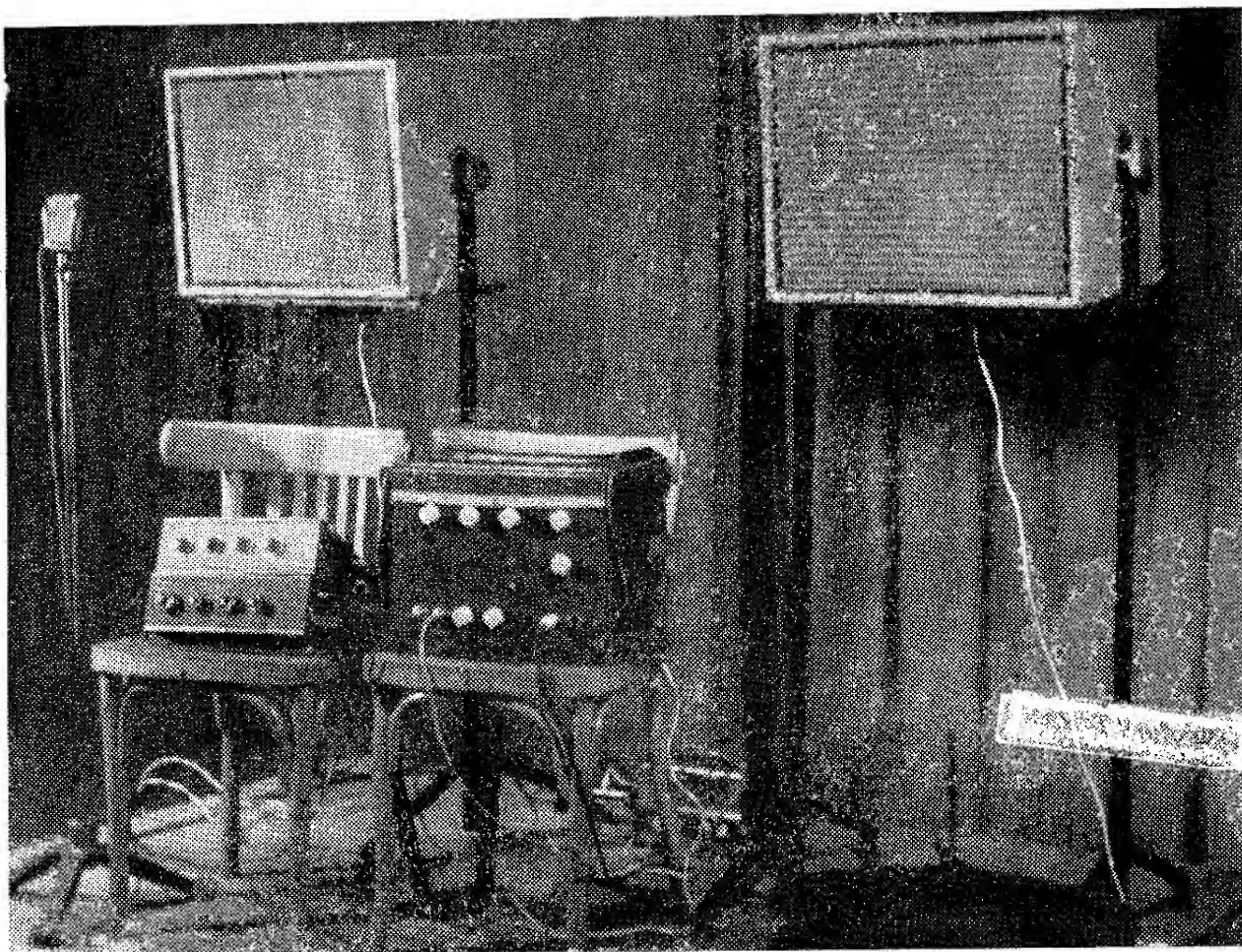
Je tedy problém pořízení slušného zvukového snímku velice náročný. Největším učitelem je vlastní praxe. Doporučuji vám natáčet zvláště jazzové orchestry na více mikrofonů. Jedním mikrofonem oby-



čejně nedosáhnete kvalitních výsledků: bicí nástroje znějí vzdáleně a rozmazaně, basa obvyčejně úplně zaniká. Modulaci smíchejte na mixážním stole nebo pultu a poslouchajte nejlépe na dobrou reproduktorovou soustavu – lépe se moduluje a vyrovnávají se rozdíly dynamiky jednotlivých skupin. Teprve tuto modulaci natáčejte na magnetofon. Každá taková improvizovaná režie, samozřejmě umístěná ve zvláštní nehlučné místnosti, za-

chrání mnoho času a co hlavního, pomůže připravit dobrý snímek už před natáčením.

Nebylo možno v tomto článku detailně rozebírat jednotlivé problémy elektroakustiky. Nebyla zde řeč např. o echu, přirozeném a umělém dozvuku, o zpoždění a zdvojení hlasu, o čínoherních záznamech ap. Je to velice široká oblast, která je navíc ovlivněna i subjektivními pocity. Ale snad jsme vám alespoň trochu pomohli v honbě za Hi Fi záznamem.



Na fotografii vidíte vhodný příklad konstrukce reproduktorových soustav a zesilovacího zařízení, určené zejména pro taneční orchestry a zpěváky. Reproduktorové soustavy jsou dvoupásmové podle popisu v tomto čísle Radiového konstruktéra. Pevné dřevěné skříně jsou polepeny odolnou imitací kůže, přední deska je zakryta tzv. tahokovem (protlačený plech s mřížkovitou strukturou). Obě skříně jsou výkyvně uloženy na lehkých kovových stojanech tak, aby vyzářený zvuk nebyl stíněn sedícími hudebníky. Reprodukter je možno proto umístit za orchestr. Vlevo na židli je tranzistorový zesilovač *Transiwatt 2*, předchůdce popisovaného *Transiwattu 3*. Pod ním je v témže typizovaném plechovém pouzdru uložen směšovač pro různé zdroje signálu. Na pravé židli je menší unikát – dozvukové zařízení s magnetofonovým páskem v nekonečné smyčce. Na první pohled je zřejmé, že přístroj je dosti složitý a jeho konstrukce není právě snadná. Mikrofon je dynamický kardioidní typ zahraniční výroby. Tímto zařízením je vybaven orchestr Miroslava Čejky z Prahy.

# PRAKTICKÉ TRANZISTOROVÉ ZESILOVAČE ZVLÁŠTĚ PRO HUDEBNÍKY

Jiří Janda

Poslední roky jsou ve znamení nástupu zcela nových hudebních směrů a hudebních vyjadřovacích prostředků. Mezi nimi zaujímají významné místo v podstatě klasické nástroje, které doplněny elektroakustickými přístroji různého druhu přinášejí do hudby nový zvukový výraz. Říkáme jim elektrofonické hudební nástroje, protože se tu s čistě elektronickými prostředky kombinuje přirozený zvuk nástroje, i když je obvykle sám těžko slyšitelný a v následujícím elektrickém zpracování se změní k nepoznání. Samotné nástroje proto vývojem ztratily téměř úplně ozvučné desky a rezonátory a jejich místo obsadily většinou podstatně menší elektromagnetické snímače. Zcela mimořádné popularity dosáhly dnes elektrofonické kytary a basy, zvláště v souvislosti s big beatovou vlnou, kde hrají hlavní roli a vytvářejí zvláštní charakter doprovodu. Elektrofonické kytary se však už delší dobu uplatňují v jazzových i tanečních orchestrech jako sólové a doprovodné nástroje. Od nich jsou odvozeny některé další nástroje, jako havajské kytary různých typů, s několika hmatníky, někdy i individuální a velice důmyslné konstrukce. Princip je samozřejmě u všech těchto nástrojů stejný: blízko kovové kmitající struny je umístěn elektromagnetický snímač, v němž se indukuje pohybem struny těsně u jádra elektromotorická síla a ta nám slouží jako tónový signál k dalšímu zpracování. Jsou i jiné nástroje na elektrofonickém principu, např. harmoniky, klávesové kladívkové nástroje pianového typu, elektrofonické vibrafony, varhany, různé speciální efektové nástroje původní konstrukce, které mohou mít samozřejmě i snímače pracující na jiných principech než elektromagnetických. Všechny však mají společnou vlastnost, totiž na výstupu dávají elektrický střídavý signál, jehož průběh odpovídá chvění struny, jazýčku, vzduchového sloupce, destičky či membrány po-

užitého nástroje. Signál vedeme do příslušného zesilovače, případně do různých přetvářecích obvodů, kde se zesílí a jeho barva se upraví podle požadavků. Zesílený signál se v podobě značného elektrického výkonu vede do reproduktorových soustav a přes jejich membrány přichází k posluchači jako slyšitelný zvuk.

Všichni hudebníci, hrající na elektrofonické hudební nástroje, i jejich posluchači však ze zkušenosti vědí, jak značně pokulhává technická výbava za jejich požadavky a současnými interpretačními možnostmi. Naši výrobci elektroakustických zařízení a hudebních nástrojů nedokázali v několika uplynulých letech tento rozpor vyrovnat, naopak, rozpor mezi poptávkou a stavem trhu se stále zvětšuje. V poslední době se sice zásluhou n. p. Hudební nástroje v Hradci Králové objevily některé nové prvky na trhu, nebo na obzoru, např. elektronické vibrátové zařízení, zesilovač pro elektrofonickou kytaru s reproduktorovou soustavou aj. Ovšem hudebníci už po nich volali řadu let a když se konečně objeví, již jsou tu požadavky další, např. na dobré dozvukové a ozvěnové zařízení. A zájemců stále přibývá, takže by se na jejich uspokojení pravděpodobně docela uživila samostatná továrna.

Hudebníci si tento rozpor řeší obvykle svépomocí, nemohou-li si vhodné elektroakustické prostředky koupit u nás nebo v cizině hotové. Mnozí z nich mají až obdivuhodné technické znalosti, doplněné často vlastní radioamatérskou praxí. Jindy zase nacházíme u orchestrů různé obětavce, kteří sami nehrají, ale mají hudbu rádi a pomáhají svými technickými znalostmi orchestru a jeho hudebníkům překonat elektroakustické potíže. Kdo s nimi nepřišel do styku, neuvěří, jak častý je to případ a jak se všechny sobě vzájemně podobají. V pražském klubu elektroakustiky 38. ZO Svazarmu v Praze se v pěti uplynulých letech vystřídala



řada zájemců z řad hudebníků a jejich přátel, kteří měli společné problémy. Většinou sháněli rychlý způsob, jak vyrobit dobrý, lehký a spolehlivý zesilovač velkého výkonu, směšovací pultík na několik mikrofónů, dobré a lehké reproduktorové soustavy, vibrátové zařízení pro kytaru a zvláště v poslední době pak nějaké vhodné a fungující dozvukové zařízení. Získané rady nebo podklady je nemohly plně uspokojit, protože Klub elektroakustiky se až dosud věnoval spíše základním problémům elektroakustiky a zařízením pro domácí reprodukci hudby z desek a pásků. Ani odborné časopisy nevěnovaly potřebám hudebníků dostatečnou pozornost. Zájemci jen obtížně sháněli různé zahraniční prameny popisující požadovaná zařízení, ještě obtížněji je realizovali a výsledky byly mnohdy pochybné. V čs. odborné literatuře také chybí dosud ucelená publikace, která by se zabývala elektroakustikou právě z hlediska okamžité a praktické potřeby našich hudebníků.

A tu se objevila zpráva, že opět bude vycházet náš starý známý a oblíbený časopis Radiový konstruktér. Redakce přišla s námětem věnovat jedno z prvních čísel elektroakustickým prostředkům pro hudebníky a zaplnit tak částečně vzniklou mezeru.

Víme, že rozsah jednoho sešitu nedovoluje rozšířit téma tak, jak by mnozí zájemci právem čekali. Proto tu nehledejte např. tolik očekávané zařízení pro elektrický dozvuk, které by samo zřejmě vyžadovalo celé jedno číslo, kdyby se mělo probrat opravdu seriózně. Téma jsme proto zúžili na nejdůležitější a přitom také nejsnáze dosažitelné zesilovače výkonu a předzesilovače, jednoduché korekční obvody na úpravu barvy zvuku a jednoduché reproduktorové soustavy dvou základních typů s odvozeninami. Popis je určen technicky nadaným zájemcům, kteří už mají určité radioamatérské zkušenosti a není třeba jim vysvětlovat základní pojmy radioamatérského řemesla. Na to by nestačil rozsah časopisu, stejně jako nestačí na uveřejnění podrobných konstrukčních podkladů pro jednotlivé přístroje. Ty jsme však mohli vypustit

s klidným svědomím, protože na rozdíl od čisté radiotechniky a stavby např. přijímačů na VKV nezáleží tu ani zdaleka tak na rozložení součástí, a to zvláště v tranzistorových zesilovačích, kde o řád nižší vnitřní impedance než u elektronek znamenají stejnou měrou zvýšení odolnosti proti nežádoucím vazbám. Bude-li mezi čtenáři hlubší zájem také o vhodnou mechanickou konstrukci popsaných přístrojů, případně ještě o jiné doplňky, pokusíme se jim věnovat v budoucnu podrobněji, např. v měsíčníku Amatérské radio.

K popisovaným přístrojům a doplňkům jsme připojili tak podrobný popis, jak jen bylo možno, aby v něm zájemci našli bezpečné vodítko pro stavbu a uvedení do chodu. Také konečné čisté mechanické řešení a uvedení do provozního stavu jim pravděpodobně nezpůsobí potíže, mají-li aspoň základní praktické zkušenosti se stavbou radiotechnických přístrojů a budou-li pracovat pečlivě.

## Proč volíme tranzistory místo elektronek

Elektronkové zesilovače a obvody všeobecně mají mnohaletou tradici a pracovníci v ní technice s nimi všeobecně mají mnoho zkušeností. Vědí, co se od elektronek může čekat a co nejsou schopny dát. Snad nejvážnějším nedostatkem elektronek v ní zesilovačích pro hudebníky je jejich malá spolehlivost, a proto většina provozních závad připadá na jejich účet. Značná váha výkonných elektronkových zesilovačů a spousta vyvíjeného tepla jsou už mlčky trpěná zla. Před několika lety se však objevily tranzistory, které krok za krokem pronikají do těch oblastí elektroniky, které byly donedávna doménou elektronek. Nejdříve zvítězily nad elektronkami stoprocentně v přenosných rozhlasových přijímačích, kde vedle podstatného zvýšení spolehlivosti přinesly i všeobecné zvýšení technické kvality nejméně o třídu. A tranzistory už zdolávají druhou etapu, po celém světě vytlačují elektronky z elektroakustických zařízení. Podíváme-li se např. na ame-

rický trh, najdeme tam u všech výrobců elektronkové zesilovače už více méně jen jako dožívající, ne-li výprodejní artikl. V Evropě je tento vývoj poněkud opožděn, ale i zde jsou neklamné známky tohoto zákonitého jevu, zvláště v magnetofonech. Domníváme se, že také v oblasti amatérské elektroakustiky je nejvyšší čas orientovat se plně na polovodiče, protože v současné době k tomu máme všechny možnosti. Obchody jsou už plné dobrých tranzistorů čs. výroby, a to všech typů, od nejmenších až po výkonové 50 W. Ve speciální prodejně v Praze 1, Žitná 7 najdete i jakostní zahraniční tranzistory. Je veliký výběr germaniových a křemíkových diod, a stále další prvky přicházejí do prodeje. Naše tranzistory se ke stavbě zesilovačů výborně hodí, např. naše tranzistory npn mají v průměru menší šumové číslo než odpovídající řady zahraničních tranzistorů. Také si můžete koupit malé tranzistory v ucelených doplňkových řadách, což je vlastně malá čs. zvláštnost. Po posledním zlevnění jsou tranzistory prakticky stejně drahé jako elektronky, a zesilovače z nich sestavené mají proti elektronkovým řadu vynikajících předností, aniž by za nimi byly v čemkoliv pozadu. To jsou jistě závažné důvody, které oprávněně vedly k vypuštění elektronkových přístrojů z našeho pojednání. O těch přednostech tranzistorových zesilovačů blíže:

Tranzistory jsou svým principem prvky s velmi nízkými impedancemi. To znamená, že jednak se napájejí podstatně nižším napětím než elektronky, jednak všechny vnější přívody s nízkou impedancí jsou méně citlivé na okolní vlivy. To je velmi vítaná vlastnost právě u citlivých zesilovačů. Tranzistory nemají zhavení, takže se u nich nevyrábí zbytečné teplo a nezanáší do citlivých obvodů nebezpečné bruceň ze žhavicích přívodů. Tranzistory zvláště ve výkonových zesilovačích pracují snadno ve třídě B, předpětové obvody jsou na rozdíl od elektronkových zesilovačů velmi prosté a účinnost koncových stupňů dosahuje téměř teoretické hodnoty. V provozu jsou však i při značných výkonech téměř chladné, a to zvláště při provozu s přirozeným signálem. Studené zesilovače znamenají, že

jsou studené i jejich součástky a mají tak mnohonásobně větší naději, že vydrží bezvadně pracovat po celou dobu předpokládaného života. Pracovníky neobtěžuje spousta vyvíjeného tepla, které se stalo problémem u větších soustav elektronkových zesilovačů. Tranzistory jsou prvky velmi odolné, jejich systémy jsou vytvořeny v pevné hmotě (angl. solid-state) a otřesy jim vůbec nevaří. Pojem mikrofonie, tak nepříjemný u elektronek, se u nich nevyskytuje.

Tranzistorové zesilovače můžeme vzhledem k jejich značné účinnosti napájet i z baterií, které poměrně dlouho vydrží. Síťové napáječe vycházejí velmi jednoduché a levné, protože i síťové transformátory se nám značně zmenší. Můžeme je totiž dimenzovat na střední odběr výkonových zesilovačů třídy B, a ten je velmi malý. Získáme proto tak příznivý poměr váhy k výkonu, jaký u elektronkových zesilovačů nebyl vůbec myslitelný, jestliže ovšem zesilovač i zdroj navrhujeme skutečně optimálně jak technicky, tak ekonomicky. To se nám hodí zvláště u přenosných zesilovačů, jaké většinou používáme v orchestrech. Nevláčíme sebou zbytečná kila. Tranzistorové zesilovače jsou navíc schopné okamžitého provozu ihned po zapnutí, nemusíme čekat, až se přístroj milostivě nažhaví.

V tranzistorové technice pracujeme také s doplňkovými obvody, které vůbec nemají obdobu v elektronekách. Nejsou totiž elektronky s obrácenou polaritou, jaké by odpovídaly tranzistorům pnp. Mnohé problémy, např. s invertory, se tak značně zjednoduší a některé potíže, např. s výstupními transformátory, odpadnou úplně. Z tranzistorových zesilovačů můžeme přímo bez transformátoru napájet obyčejné nízkohmové reproduktory. Konstruktor jistě ocení, jaké výhody mu to přinese a jakou měrou může stoupnout kvalita přenosu, jestliže této okolnosti náležitě využije.

To všechno jsou jistě značné výhody, které by jistě každého přesvědčily, kdyby nebyly na druhé straně provázeny některými nepříznivými jevy. Ty vyplývají ani ne tak z nedostatků samotných tranzistorů, jako spíše z malé zkušenosti těch,

kteří s tranzistory přicházejí poprvé do styku. Nepoučený pracovník obvykle brzy citelně pozná rozdíl mezi tranzistory a elektronkami, začne-li se štourat v tranzistorovém zesilovači šroubovákem tak, jak to beztréstně dělal v elektronkových obvodech. Všechny zkratky, nesprávná spojení, chyby a přepětí značně ohrožují polovodičové součástky. Např. zkrat na reproduktorové lince za plného provozu může znamenat průraz jednoho i více tranzistorů. Cizí napětí ve výstupní lince totéž. Také letmý dotek šroubovákem při hledání chyby může způsobit stejnou škodu. Proto jsou zvláště nebezpečná tzv. vrabčí hnízda, kde dochází ke zkratům. Kdo se s tranzistory v zesilovačích dosud nesetkal, udělá dobře, zvykne-li si od počátku jako podle železného pravidla pracovat čistě, bez zbytečných improvizací, bude dokonale pájet a součásti umisťovat přehledně, aby se ke každému bodu i za provozu mohlo např. s měřicím hrotem bez obtížného klestění cesty houštinou spojů. Vyplatí se věnovat více času vlastnímu rozmístění součástek, přičemž si předem všechno dobře rozvrhneme na papíře. Pokud jsou v zesilovačích některé nastavovací prvky, např. potenciometrové trimry, nastavujeme je opatrně, zvláště ovládají-li klidovou spotřebu zesilovače třídy B. Jinak může tepelná nestabilita ohrozit celý zesilovač. Také při měření celých zesilovačích soustav je třeba dbát na správné propojování a důkladné měřicí kabely. Např. utržený zemní přívod nebo obrácená polarita vstupních přívodů může vést k rozkmitání soustavy na vysokých kmitočtech – a tranzistory jsou opět ohroženy. Podobně i při měření na vysokých kmitočtech je třeba opatrnosti, pokud naše tranzistory nebudou mít vyšší mezní kmitočet. O tom více v příslušných statích.

Těchto několik výstrah nemá rozhodně odradit zájemce od práce s tranzistory, naopak, má jim ukázat, že při pečlivé práci mohou využít všech výhod, které jim přináší tranzistorová technika. Aby se jim lépe tvořilo, připojujeme další odstavec, kde najdou stručné pojednání o základních vlastnostech tranzistorů a o tom, jak si je mohou jednoduchými prostředky sami vyzkoušet nebo změřit.

## Proudový zesilovací činitel B a závěrné napětí tranzistorů

Každý radioamatér se už setkal v tisku s podrobným popisem vlastností tranzistoru a jistě není třeba je tu znova rozebírat. Tím spíše, že takové základní knižní prameny nebo časopisy jsou u nás přístupné prakticky každému. Věnujme se aspoň stručně dvěma základním vlastnostem tranzistorů, které nás při stavbě zesilovačů nejvíce zajímají a které si můžeme poměrně jednoduše také sami zjistit u každého tranzistoru.

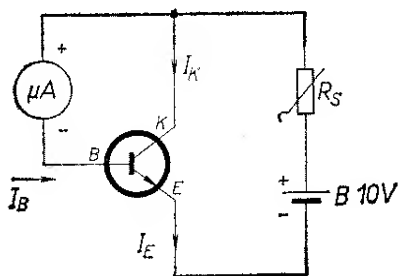
Proudový zesilovací činitel  $B$  je číslo, které nám udává, kolikrát je ss kolektorový proud tranzistoru větší než ss proud tekoucí do jeho báze, a to v emitorovém zapojení. Jeho měření je velmi prosté a v praxi jsou výsledky srovnatelné s měřením proudového zesilovacího činitele  $h_{21e}$  nebo  $\beta$  (beta), což je hodnota podobná, ale měřená dynamicky při malých střídavých signálech. Hodnoty měřené při různých proudech jsou sobě velmi podobné a liší se často jen o několik procent, což u této veličiny je přesnost až přehnaná. V dalším textu udáváme proto vždy činitel  $B$ , který také výrobci často sami udávají zvláště u výkonových tranzistorů. Klidně ho zaměňujeme za činitel  $h_{21e}$  u malých tranzistorů a sami si ho můžeme také jednoduše změřit.

Neznámý tranzistor zapojíme podle obr. 1. Jako proudový zdroj  $B$  nám poslouží třeba baterie o známém napětí, akumulátor nebo síťový zdroj. Odpor  $R_s$  bude tak velký, aby obvodem protékal při plně otevřeném tranzistoru nějaký jednotkový proud, tj. 1, 10 nebo 100 mA. Uvažujeme tedy např. napětí 10 V, podle Ohmova zákona nám vyjde pro proud 1 mA odpor 10 k $\Omega$ , pro 10 mA 1 k $\Omega$  a 100  $\Omega$  pro 100 mA. Zvolíme si pro měření ten proud, při kterém tranzistor bude nejspíše pracovat. Malé tranzistory budeme měřit obvykle při 1 a při 10 mA, zatímco výkonové měříme při 100 mA, popřípadě s odporem 10  $\Omega$  i při 1 A. Ale měření na 1 A je zbytečné, protože průběh činitele  $B$  při různých proudech je u všech

tranzistorů velmi podobný. V naznačeném zapojení musíme ovšem tranzistor otevřít, aby přes něj mohl protékat zvolený jednotkový proud tak, že odpor tranzistoru mezi kolektorem a emitorem je zanedbatelně malý. To uděláme propojením báze na kolektor, zde ovšem přes vhodný citlivý měřicí přístroj, který nám ukáže proud tekoucí do báze. Protože proud báze a kolektoru známe, snadno si spočítáme činitel  $B$  buď z paměti, nebo podle jednoduchého vztahu

$$B = \frac{I_E}{I_B} - 1,$$

kde  $I_E$  je náš jednotkový zvolený proud tekoucí kolektorem do emitoru spolu s proudem báze.  $I_B$  je naměřený proud tekoucí do báze.



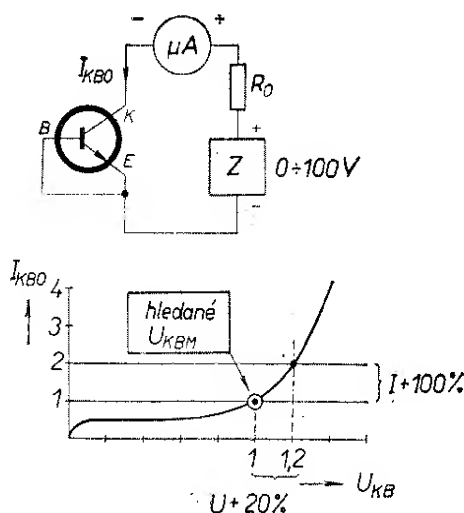
Obr. 1. Měření proudového zesilovacího činitele  $B$

Např. měříme výkonový tranzistor při 100 mA a do báze nám tekou 2 mA. Dosadíme do vzorce:

$$B = \frac{100}{2} - 1 = 50 - 1 = 49.$$

Protože tu jednotku můžeme klidně zanedbat, počítáme raději z paměti a prostě si uvědomíme, kolikrát je zjištěný proud báze menší než emitorový proud tekoucí tranzistorem. Na první pohled poznáme, že je to asi 50krát, a to je prakticky námi hledaná hodnota  $B$ . Doporučuje se pracovat s tranzistory o nepříliš velkém činiteli  $B$ , zvláště na místech, kde jsou vystaveny většímu napětovému namáhání. Takové tranzistory vydrží obvykle i různé nežádoucí příhody, např. přepětí apod.

Druhá hodnota, která nás zajímá zvláště u tranzistorů pro výkonové zesilovače, je tzv. závěrné napětí. Dovíme se z ní, s jak velkým napětím zdroje můžeme tranzistory bezpečně provozovat. Pro zjednodušení v našem případě uvažujeme vždy závěrné napětí při společné bázi, jak to odpovídá i použití tranzistorů ze stejnosměrného hlediska v popisovaných přístrojích. Závěrné napětí měříme podle obr. 2. Emitor spojíme s bází a měříme proud procházející tranzistorem. Dříve použité odpory ponecháme v sérii s měřicím přístrojem jako jeho ochranu při eventuálním zkratu v tranzistoru. Měřidlo nám udává tzv. zbytkový zpětný proud  $I_{KBO}$ , který má být u dobrého tranzistoru co nejmenší a nemá se ani příliš měnit se stoupajícím napětím. (S teplotou se ovšem zvyšuje vždycky, a to zvláště u germaniových tranzistorů). Pak napětí měrného zdroje  $Z$  opatrně zvyšujeme a pozorně při tom sledujeme měřidlo proudu. Proud obvykle neroste úměrně se stoupajícím napětím, ale spíše pomaleji, někdy téměř vůbec ne. Pojednou však uvidíme, že počíná náhle narůstat na podstatně vyšší hodnotu a – tady už napětí dále nezvyšujeme, ale vrátíme se rychle zpět na bezpečnou hodnotu napětí. Kdybychom přesto napětí dále zvýšili, zvětší se proud až na nebezpečnou hodnotu a mohlo by dojít k trvalému poškození tranzistoru průrazem mezi kolektorem a emitorem. Za použitelné závěrné



Obr. 2. Měření závěrného napětí  $U_{KBM}$

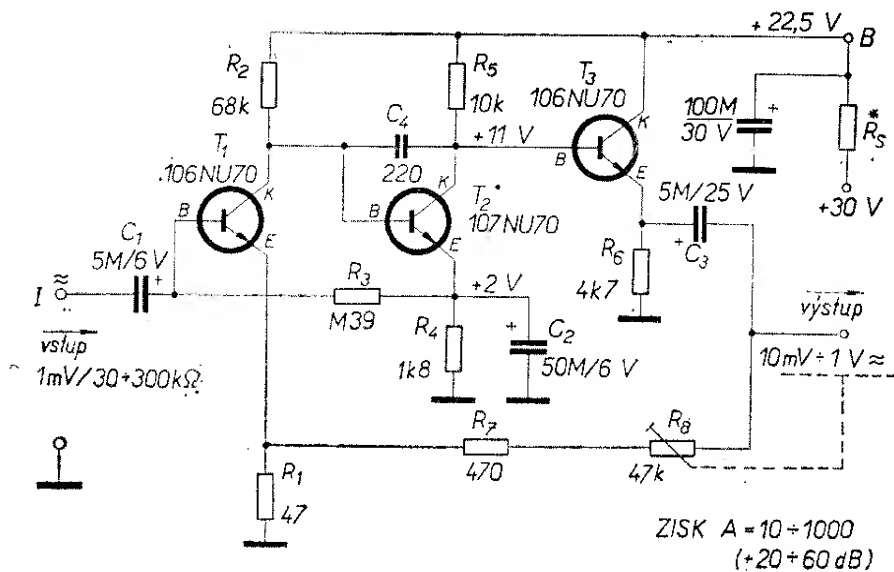
napětí můžeme považovat to napětí, u něhož ještě nezaznamenané rychlejší vzestup proudu. Lze to vyjádřit i přesněji, např. tak, že je to takové napětí, které při zvýšení o 20 % vyvolá vzrůst zpětného proudu právě na dvojnásobek. U mnohých tranzistorů toto pravidlo selže, protože jejich zpětný proud stoupá téměř úměrně s kolektorovým napětím a ohyb na křivce závislosti  $I_{KBO}/U_{KB}$  (říkáme tomu koleno) nikde nezjistíme. Podle teorie to jsou celkem špatné tranzistory, podle praxe však vydrží mnohem více než tzv. dobré kusy s nepatrným zpětným proudem. To platí zvláště o výkonových tranzistorech, kde nám nevadí ani značné zpětné proudy, překračující značně tolerance technických podmínek. Četné výkonové zesilovače popisovaného typu, které byly osazeny takovými mimo-tolerantními tranzistory, mají přitom dobré vlastnosti a už léta pracují bez závad.

Popisované měření činitele  $B$  a závěrného napětí lze snadno improvizovat. Proud báze lze měřit např. mikroampérmetrem do 100  $\mu A$ , k němuž si snadno vyrobíme bočníky pro větší proudy složením běžných vrstevových odporů. Jinak je vhodný i přístroj METRA DU 10 a jiné. Kdo však pracuje s tranzistory častěji, může si pořídit na tomto principu samostatný měřicí přístroj. Podrobný stavební návod najde v AR 2/62 na str. 41. (Doplň si tam však zapomenutý spoj mezi svorkou + pro vnější měřidlo a mezi + pólem kondenzátoru  $C_1$ ). Měřidlem

můžeme samozřejmě kontrolovat i diody, ovšem pro usměrňovací diody do zdrojů proudu už nestačí rozsah měřicího napětí. Na druhé straně však praxe ukázala, že na špatné závěrné napětí čs. diod TESLA si rozhodně nemůžeme stěžovat, naopak, že diody mají vesměs závěrné napětí i podstatně vyšší, než zaručuje údaj v katalogu. O tranzistorech to však platí s určitými výjimkami. Proto doporučujeme popsáním způsobem kontrolovat aspoň tranzistory používané na inverter, kde jsou největší nároky na bezpečnou hodnotu závěrného napětí. Ostatní stupně včetně koncového nejsou v tomto ohledu kritické, ovšem při napětích asi do 33 V.

## Univerzální předzesilovač s lineárním průběhem

Na obr. 3 vidíme prostý třítranzistorový předzesilovač s vysokým napěťovým ziskem, který se hodí téměř pro všechna běžná použití v elektroakustice. První dva tranzistory pracují jako zesilovače v běžném emitorovém zapojení, třetí  $T_3$  je zesilovač se společným kolektorem, kterému se však nejčastěji říká emitorový sledovač proto, že fáze výstupního signálu na emitoru sleduje fázi signálu na vstupu. Z výstupu je na vstup přes  $R_8$  a  $R_7$  zavedena záporná zpětná vazba, jejíž velikost můžeme měnit proměnným odporem  $R_8$  a tak nastavit napěťový zisk předzesilovače podle potřeby



Obr. 3. Univerzální lineární předzesilovač

$$R_K \frac{2}{65} \cdot 13$$



v uvedených mezích nebo i více, změníme-li hodnoty odporů ve zpětnovazební smyčce. Zásadně platí, že napěťový zisk takového zesilovače se silnou zápornou zpětnou vazbou prakticky nezávisí na vlastnostech tranzistorů a součástek předzesilovače, ani na napájecím napětí, ale hlavně na poměru odporů ve zpětnovazebním děliči. Stačí si pamatovat jednoduchý vztah, že zisk předzesilovače bude přibližně tak velký, kolikrát větší je horní člen děliče napětí zpětné vazby (tj. součet odporů  $R_7 + R_8$ ) než dolní člen děliče, tj.  $R_1$ . Hodnoty těchto odporů můžeme měnit ve velmi širokých mezích podle potřeby, dbejme však, aby jejich celkový součet nebyl menší než asi 1000  $\Omega$ . Zpětnovazební dělič je totiž připojen paralelně k výstupu a zbytečně ho zatěžuje, je-li jeho ohmická hodnota příliš nízká. Proto pracujeme-li s předzesilovačem v oblasti poměrně malého napěťového zesílení, okolo 20 až 40 dB (tj. asi 10 až 100krát), zvětšíme raději  $R_1$ , třeba až na několik stovek  $\Omega$ , aby se výstup předzesilovače odlehčil a mohli jsme dosáhnout většího rozkmitu signálu na výstupu. Zpětná vazba spotřebuje tedy větší část zisku, protože bez vazby má předzesilovač napěťové zesílení okolo 10 000, tj. asi 80 dB. Nemusíme toho litovat, zavedením záporné zpětné vazby se stejnou měrou zvyšuje vstupní impedance, výstupní se snižuje, zlepšuje se zkreslení a kmitočtová charakteristika i s běžnými nf tranzistory se prodlužuje až k 1 MHz. Se silnou zpětnou vazbou má předzesilovač skutečně vynikající vlastnosti, zvláště kdybychom ho osadili vf tranzistory ( $T_1$  a  $T_2$ ).

Tranzistorové osazení však volme s určitou péčí. Na první stupeň  $T_1$  patří tranzistor s nejnižším šumem, ovšem téměř všechny malé čs. tranzistory, zvláště řady npn mají šumové číslo velmi dobré, takže tu vyhoví obvykle každý kus. Jedině kdyby šum příliš rušil, pokusíme se vyměnit  $T_1$  za jiný. Aby však tranzistorový předzesilovač šuměl co nejméně, má mít připojovaný vstupní zdroj signálu co nejmenší impedanci. Prakticky šumí každý tranzistorový předzesilovač, má-li vstup otevřený a nic není připojeno. Šum mizí tím více, čím menší odpor připojíme ke vstupu, a nejslabší je při vstupních od-

porech od několika set  $\Omega$  k přímému zkratování vstupních svorek. Šum také omezí velká kapacita, připojená paralelně ke vstupu. To je případ, o kterém pojednáваме na jiném místě a který nám umožňuje jednoduše připojovat na vstup i běžné krystalové měniče. Proto se také k tranzistorovým předzesilovačům nejvýhodněji připojí všechny měniče, pracující na magnetickém principu, které už samy o sobě mají poměrně nízké impedance na zvukových kmitočtech i velmi nízký odpor vinutí.

Proto u hotového předzesilovače zkoušíme šum nejlépe tak, že ho posloucháme při zkratovaných vstupních svorkách, popřípadě sem připojíme zamýšlený zdroj signálu. Při běžných nízkaimpedančních dynamických mikrofonech, magnetických přenoskách nebo magnetofonových hlavách s indukčností pod 100 mH je vlastní šum tranzistorových předzesilovačů tak nízký, že odpovídá i profesionálním měřítkům. Takových výsledků se s běžnými elektronkami dosahovalo jen s obtížemi. U tranzistorových předzesilovačů nám odpadnou většinou i potíže s bručením. Odstup rušivého napětí je běžně větší než 60 dB při lineárním průběhu, kdy se spíš uplatňuje tzv. bílý šum ve vyšší části zvukového pásma. U předzesilovačů, určených pro magnetofonové hlavy nebo přenosky, kde je třeba zdůrazňovat dolní část zvukového pásma, ruší spíše tzv. blikavý šum. Jeho velikost je tím vyšší, čím je nižší přenášené kmitočtové pásmo. Zde už bývá nutné na první stupeň ( $T_1$ ) tranzistory vybírat. Obvykle šumí tranzistory s větším zbytkovým proudem  $I_{KBO}$  a netěsným pouzdrům. Ale i tak se s běžnými tranzistory dosahuje klidového odstupu šumu většího než 50 dB.

Na druhý stupeň ( $T_2$ ) použijeme tranzistory s co největším  $B$ , na  $T_3$  pak spíše se středním  $B$ , které mají obvykle větší závěrné napětí  $U_{KEM}$  a nejsou tak náchylné na zpětný průraz mezi kolektorem a emitorem. Má-li první tranzistor příliš odlišný činitel  $B$  nebo zvětšený  $I_{KBO}$ , bude třeba změnit hodnotu předpětového odporu  $R_3$  tak, aby výstupní signál byl symetrický a nedocházelo k uřezávání některé půlvlny. Výborně se to nastavuje např. podle osciloskopu. Teplotní stabi-

lizace je dobrá, obstarává ji opět záporná zpětná vazba z emitoru  $T_2$  do báze  $T_1$ . Působí samozřejmě jen pro ss proud, protože paralelně k  $R_4$  je připojena kapacita  $C_2$ . Malý kondenzátor  $C_4$  slouží jako fázová korekce a zabráňuje rozkmitávání předzesilovače, v případě, že nastavíme mimořádně silnou zpětnou vazbu a malý celkový zisk. Maximální výstupní signál dostaneme v případě, že na  $R_6$  máme asi poloviční napětí, než je napětí napájecí. Zjistíme to snadno voltmetrem s malou spotřebou a tím nahradíme i osciloskop, chceme-li nastavit pomocí  $R_3$  optimální pracovní bod. Z výstupu lze odebírat až 6 V<sub>ef</sub> na odporu ne menším než 600 Ω, při prakticky neměřitelném zkreslení.

Napájet je možné přístroj ze síťového zdroje, např. společně s výkonovým zesilovačem, nastavíme-li hodnotu oddělovacího odporu  $R_8$  (hvězdička v obr. 3 naznačuje, že velikost odporu je nutno odzkoušet) přibližně tak, aby na svorce B bylo asi uvedených 22,5 V. Samozřejmě stačí i podstatně nižší napájecí napětí, ovšem úměrně s ním se zmenšuje maximální signál, který můžeme odebírat z výstupu. Také celkový zisk (uvažováno ovšem bez zpětné vazby) klesá a současně částečně i některé žádoucí vlastnosti zesilovače, i když silná záporná zpětná vazba to většinou zachrání a udrží vlastnosti zesilovače i při nižším napájecím napětí prakticky neměnné. Takovou změnou napájecího napětí může být i jeho rychlé kolísání, tj. např. brum ze špatného filtru apod., který se u zesilovačů se silnou zápornou zpětnou vazbou projevuje méně. Z uvedené zasloužené chvály záporné zpětné vazby vidíme, že bychom na ni nikdy neměli zapomínat a nastavit ji vždycky tak silnou, pokud jen to je únosné z technického i ekonomického hlediska.

## Univerzální předzesilovač s korekcemi pro různé zdroje signálu

Zapojení na obr. 4 ukazuje obdobný předzesilovač, který má odlišnou smyčku záporné zpětné vazby. Nejsou v ní už jen

samotné odpory, ale přibýly kapacity tvořící spolu s odpory kmitočtově závislé členy. Podle kmitočtu, procházejícího zesilovačem, se mění impedance horního členu děliče, sestávajícího z různých kombinací  $R_7$  až  $R_{10}$  a  $C_4$  až  $C_6$ , vzhledem k velikosti  $R_1$ , tím se mění velikost zpětné vazby a tedy i zesílení na různých kmitočtech. Průběh zesílení označujeme jako tzv. kmitočtovou charakteristiku a volíme ji prakticky libovolně podle připojeného zdroje signálu. Přesto, že se takové univerzální zesilovače hodí spíše pro domácí zařízení k reprodukci hudby, uvádíme zde celkové zapojení a stručně bližší podrobnosti. Méně zkušeným zájemcům to poslouží jako vodítko pro pochopení činnosti některých zdrojů signálu, s nimiž se pravděpodobně setkají i při jiné aplikaci.

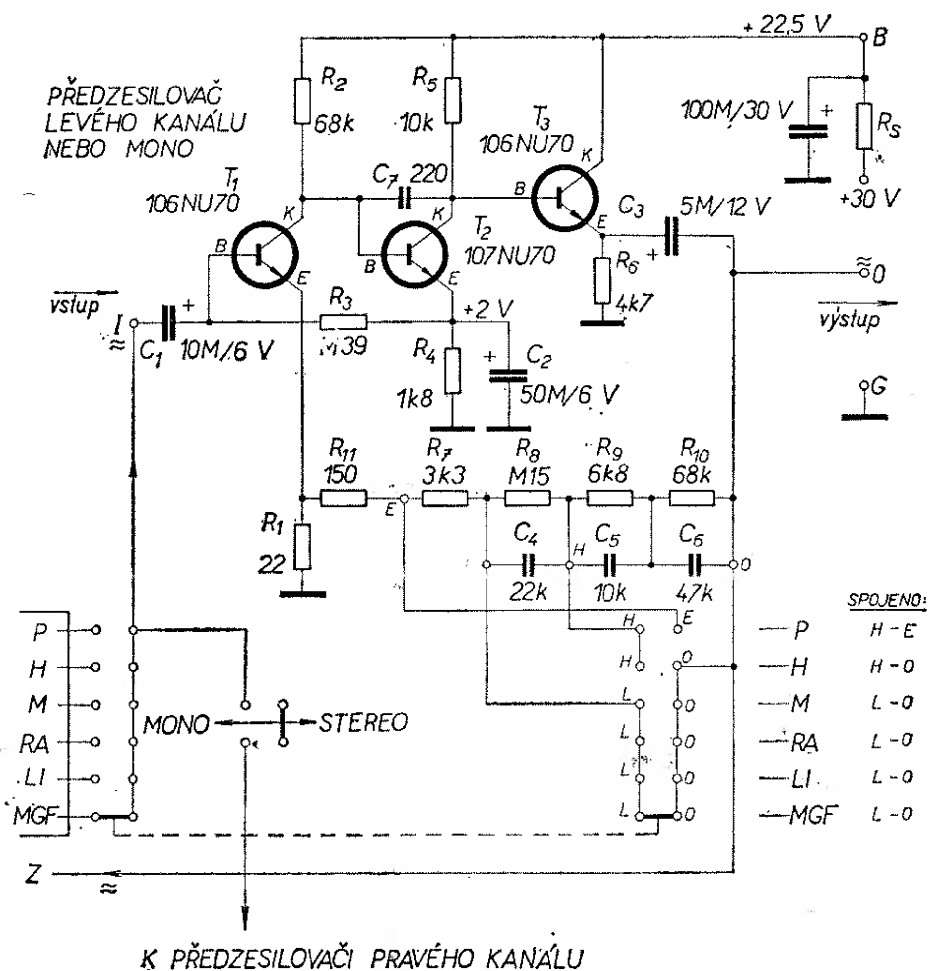
V praktické zvukové technice se setkáváme se třemi zásadně odlišnými zdroji signálu co do kmitočtové výstupní charakteristiky. Jsou to zdroje s lineárním výstupním signálem, tj. výstupní napětí nezávisí a nemá záviset na kmitočtu. Jsou to mikrofony všech typů, křemíkové fotonky, modulační linky, elektromagnetické snímače, diodové výstupy přijímačů a televizorů (rozhlas po drátě), popřípadě výstupní svorky magnetofonů s vlastními vestavěnými zesilovači apod. A ovšem také krystalové gramofonové přenosky, pracují-li naprázdno, tj. do velkého odporu. Tyto zdroje vyžadují zesilovač s rovným kmitočtovým průběhem, i když se někdy snažíme např. zdůrazněním výšek vyrovnat poněkud chudé přenosové vlastnosti některých zdrojů signálu (např. křemíkové fotonky, mikrofonu apod.).

Druhá skupina jsou magnetické přenosky, které pracují na rychlostním principu, tzn. že jejich výstupní napětí je úměrné rychlosti záznamu na desce a tedy vlastně i kmitočtu, kdyby byl záznam pořízen se stálou amplitudou. Záznam na deskách má však pevně stanovený a celosvětově normalizovaný průběh. Se stálou rychlostí a tedy proměnnou amplitudou se nahrávají kmitočty mezi 500 až 2120 Hz a pod 50 Hz, zatímco se stálou amplitudou a tedy proměnnou rychlostí jsou zaznamenány na desce kmitočty mezi 50 až 500 Hz, a nad 2120 Hz. Je to

optimálně stanovený průběh, který dává nejlepší odstup šumu a hluku při minimálním zkreslení. Průběh je charakterizován třemi časovými konstantami 3180, 318 a 75  $\mu$ s (odpovídají 50, 500 a 2120 Hz) a odpovídá co nejlépe tónové statistice (tj. rozložení energie podle kmitočtu zvukového pásma) přirozeného hudebního signálu. Takto nahraná deska se snímá magnetickou přenoskou a na jejím výstupu dostaneme signál, úměrný rychlosti záznamu. Napětí klesá směrem k nižším kmitočtům, zatímco k vyšším kmitočtům stoupá. Abychom na výstupu zesilovače dostali požadovaný rovný průběh, musíme zvolit jeho přenosovou charakteristiku právě opačnou a zrcadlově souměrnou. Zesílení musí být větší na nízkých a menší na vysokých kmitočtech. Do smyčky zpětné vazby dáme tedy kmitočtově závislé členy s uvedenými časovými konstantami, zde  $R_9$ ,  $R_{10}$ ,  $C_5$  a  $C_6$ . Kromě magnetické přenosky můžeme na vstup připojit i krystalovou přenosku (která je zásadně amplitudovým měni-

čem, protože její výstupní napětí je úměrné amplitudě záznamu), kterou změníme na rychlostní měnič tak, že ji zatížíme malým paralelním odporem, jehož velikost je menší než kapacitní odpor krystalu na nejvyšším přenášeném kmitočtu. V praxi se přidává odpor několika tisíc  $\Omega$ .

Třetím běžným zdrojem signálu jsou magnetofonové hlavy, snímající záznam z pásky nebo zvukového filmu s magnetickou stopou. Mnozí hudební fanoušci přehrávají nejraději kvalitní pásky pořízené jinde, třeba na objednávku, v optimálních podmínkách a obvykle stereofonní, na rychlosti 19 cm/s. Stačí jim pak jednoduchý magnetofon bez snímacího zesilovače a záznamové části, vybavený jen snímací hlavou. Hlavu prostě připojí ke svému univerzálnímu zesilovači a poslouchají hudbu z jakostního magnetického záznamu. Zde se pracuje nejčastěji se čtvrtstopým stereofonním záznamem na rychlosti 19 cm/s, náročnější volí i záznam půlstopý. Rychlost 9,5 cm/s se pro



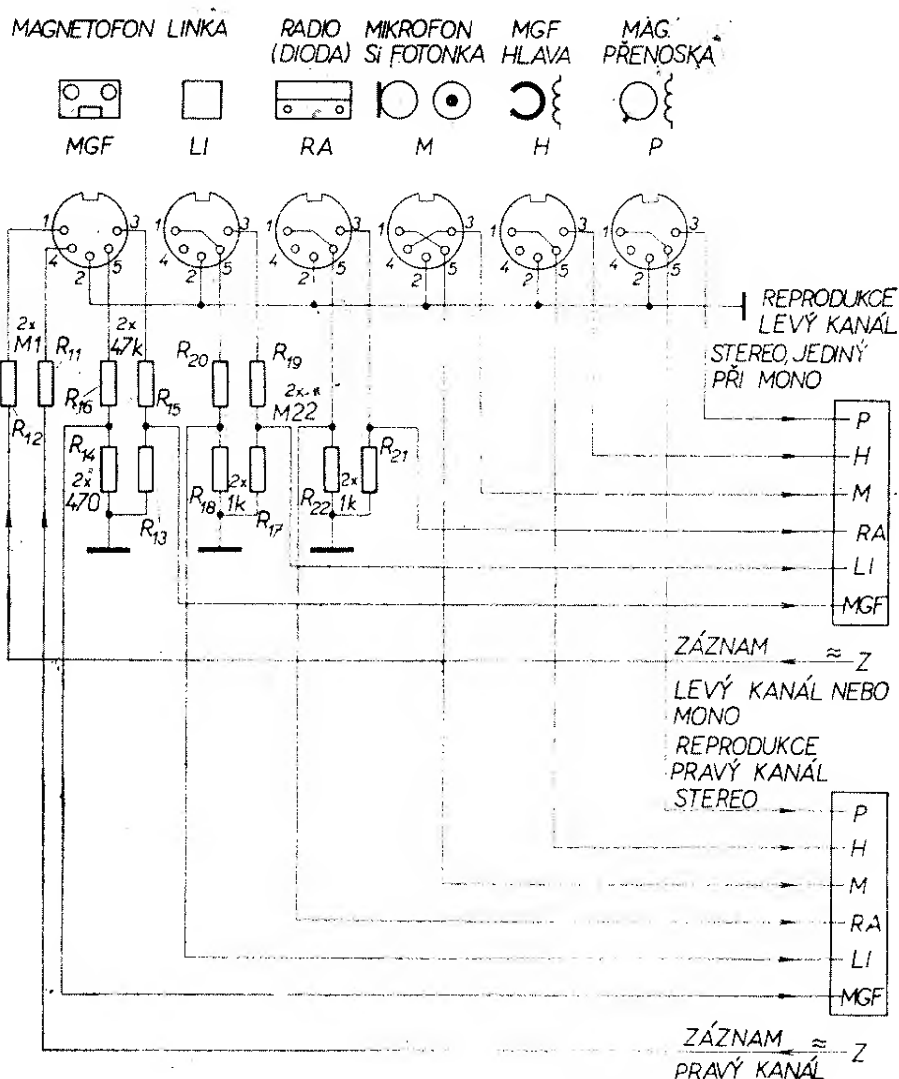
Obr. 4. Univerzální předzesilovač s korekcemi pro různé zdroje signálu

předem nahrané pásky prakticky ne-  
užívá. Také u nás se tento způsob zřejmě  
brzo rozšíří, i když zatím je oblíben  
hlavně v zámoří.

Protože magnetofonová hlava je v prin-  
cipu také rychlostní měnič a její výstupní  
napětí je úměrné kmitočtu, bude kmi-  
točtová charakteristika zesilovače pro re-  
produkcii z pásky podobná předešlému  
provedení pro přenosku a zesílení bude  
opět stoupat směrem k nižším kmitočtům.  
Přechodové kmitočty korekčních členů  
a tedy jejich časové konstanty jsou opět  
stanoveny jako optimum z hlediska sou-  
časné úrovně hlav, pásek a podle tónové  
statistiky. Norma IEC stanoví pro rych-  
lost 19 cm/s časové konstanty, 70  $\mu$ s a  
3180  $\mu$ s, odpovídající kmitočtům 2270 a  
50 Hz. Pro rychlost 9,5 cm/s je to 140  
a 3180  $\mu$ s. Náš předzesilovač je určen pro  
rychlost 19 cm/s a v korekcích jsou členy  
 $R_7$ ,  $C_4$  a  $R_8$ . Pro jiné rychlosti se členy

snadno přizpůsobí (38 cm/s – 35  $\mu$ s) s vý-  
jimkou 4,75 cm/s a nižších rychlostí,  
které potřebují také zdůraznění výšek  
při snímání a na to není tento jednoduchý  
člen zařízen. To také vychází z rámce na-  
šeho pojednání.

Zvláštností použitých kmitočtově zá-  
vislých členů je jejich sériové řazení,  
které se při volbě různých kombinací ani  
na okamžik zcela nerozpojí. Zamezuje se  
tím rušivým nabíjecím jevům, které na-  
stávají rozpojením smyčky zpětné vazby  
v případech, že se jednotlivé korekční kom-  
binace volí běžným přepínačem, který  
nemá zaručené trvalé spojení v mezipolo-  
hách při přepínání. Zde se při volbě kom-  
binací jen zkratují některé části korekč-  
ního řetězu, takže ostatní nezkratované  
představují žádaný korekční člen ve  
smyčce zpětné vazby. Jednotlivé kombi-  
nace jsou snadno přehledné, ale vyžadují  
přepínač typu Philips (jsou to naše známé



Obr. 5. Připojova-  
cí konektory pro  
zdroje signálu a  
magnetofon

přepínače TESLA typů PN 533 16, 17 a 18). Přepínače amerického typu (u nás TESLA Pardubice a TESLA Brno) se pro tento způsob přepínání nehodí, nemají ani zdaleka stejné kombinační možnosti a musely by se zdvojit jejich desky, zvláště na stereo. Jednotlivé polohy přepínače jsou: přenoska, hlava, mikrofon, radio, linka (např. z výstupu směšovače, z drátového rozhlasu přes dělič apod.) a magnetofon s vlastním zesilovačem.

Shodně s kotoučkem přepínače v korekcích otáčí se druhý kotouč, který volí a postupně připojuje jednotlivé vstupní konektory. Jejich zapojení je uvedeno na obr. 5 a vzájemné spoje jsou označeny shodnými písmeny pro jednotlivé polohy. Vstupní konektory jsou zapojeny mezinárodním systémem, který používají všichni výrobci. Na doteky 3 a 5 se přivádí signál směřující do zesilovače pro levý a pravý signál. U mikrofonního vstupu (je tu kombinován s lineárním stereofonním vstupem) jsou to však doteky 1 a 4. Jinak se doteky 1 a 4 používají vždy jen pro signál, směřující ze zesilovače ven. U zásuvky pro magnetofon přes ně jde signál, určený k záznamu na pásek. Stereofonní magnetofon sem tedy připojíme pětižilovou propojovací šňůrou, která je vždy v příslušenství. Vstup RADIO má paralelně odpory  $R_{21}$  a  $R_{22}$ , které spolu s odporem diodového výstupu, vestavěným v přijímači, snižují napětí z diodového výstupu na požadované 3 mV. Vstupy pro linku a magnetofon mají děliče se stejným úkolem. Uspořádání je vhodné pro stereofonní zesilovač. V monofonním provedení bude jen jeden předzesilovač a odpadnou tedy všechny spoje, které se k němu nevážou. Také příslušné doteky ve vstupních konektorech zůstanou neobsazené.  $R_{11}$  na obr. 4 je nezbytný fázový korekční člen, který zabráňuje kmitání při poloze P.

## Dvoutranzistorový předzesilovač s korekcemi pro různé zdroje signálu

Poslední z řady předzesilovačů je jednodušší variace předchozího typu (obr. 6).

Chybí mu poslední tranzistor  $T_3$  a proto má i menší výkonové zesílení. Prakticky to znamená, že při stejném napěťovém zesílení má jeho výstup podstatně vyšší výstupní impedanci a nemůžeme ho zatěžovat tak malými odpory jako předešlý typ. Je určen hlavně pro práci naprázdno kde vstupní odpor následujících zesilovačů nebo korekčních obvodů není menší než asi 80 až 100 k $\Omega$ . Nejde-li nám o maximální přesnost korekcí, může to být samozřejmě i méně, až do 10 k $\Omega$ . Korekční zpětnovazební členy však zatěžují tento zesilovač podstatně více a jeho napěťové zesílení je proto menší. Na druhé straně má předzesilovač větší stabilitu. Ta se projevuje zvláště v naprosté odolnosti tohoto jednoduchého zapojení proti jakýmkoliv vf oscilacím, které u třítranzistorového provedení musíme potlačit opravnými členy  $R_{11}$  a  $C_7$ . Dvoutranzistorový předzesilovač je proto vhodnější jako stavební jednotka do složitějších soustav, kde mohou vznikat různé vzájemné vazby mezi jednotlivými zesilovači a podporovat tak náchylnost ke kmitání. Jinak je funkce zcela obdobná předešlému případu. Na  $T_1$  však použijeme tranzistor s vyšším ziskem (stejný jako na  $T_2$ ) a  $T_2$  má v emitoru malý neblokovaný odpor, který poněkud snižuje šum zesilovače při větších impedancích zdroje vstupního signálu. Pro správnou funkci a symetrické výstupní napětí má být na kolektoru  $T_2$  zase přibližně poloviční napětí ss napájecího zdroje. Případné značnější odchylky napravíme změnou hodnoty  $R_3$ . Napájecí napětí 22,5 V je optimum a podle napětí zdroje tedy nastavíme vhodnou hodnotu  $R_5$ . Při stereofonním provozu použijeme opět dva samostatné zesilovače, jejichž vstupy spojíme při monofonním signálu jednoduchým přepínačem.

### Mechanické provedení předzesilovačů

Jestliže neumístíme předzesilovač do těsné blízkosti výkonového zesilovače nebo napájecího zdroje, nezáleží na rozložení součástek. Jejich špatným rozložením si sice prodloužíme zbytečně spoje,



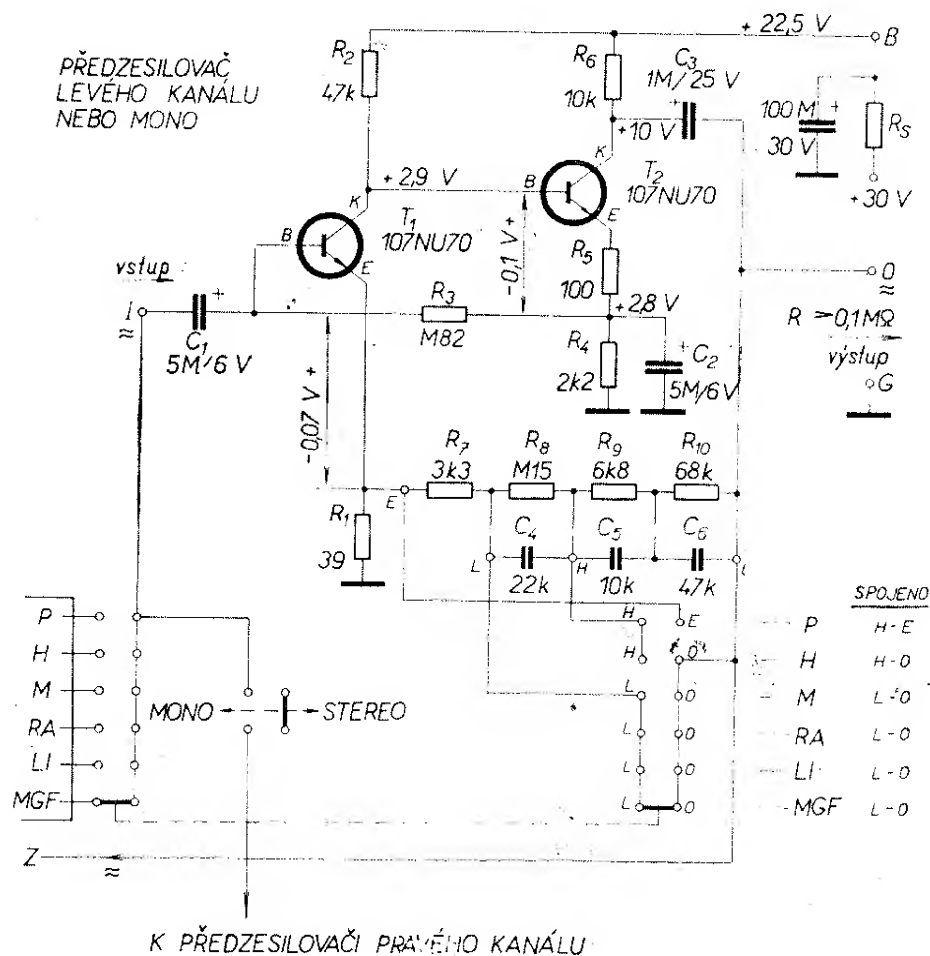
hůře to vypadá, ale na funkci to nemívá vliv. Nejlepší je zachovat rozložení součástí podle schématu. Protože je vstup obvykle velmi citlivý, je vhodné celý předzesilovač postavit co nejmenší a celý ho vložit do kovového pouzdra spojeného s kostrou. Do stejného pouzdra by se měl vejít i přepínač korekcí a vstupních okruhů, kam velmi rádo proniká rušivé magnetické pole síťového transformátoru a dokonce – to je dosti neznámá skutečnost – i rušivé pole, vyzařované nárazovým filtračním elektrolytem ve zdroji. Pokud nedáme do tohoto pouzdra i vstupní konektory, musí být přívody od nich stíněné, jsou-li delší než asi 10 cm, přičemž ještě také záleží na jejich poloze vůči síťovému transformátoru.

## Tónové filtry a korektory

Jsou to nastavitelné obvody, jimiž se dá upravit barva reprodukováného zvuku

tak, že se potlačí nebo zdůrazní horní či dolní oblast zvukového pásma. Mají za úkol hlavně přizpůsobit poslech akustice místnosti, do jisté míry mohou napravit určité nedostatky reproduktorových soustav, nebo jsou schopny částečně vyrovnat nedostatky zvukového záznamu. Nejsou však všemocné, chybějí-li např. na desce výšky a chtěli bychom si je proto korektorem zdůraznit, zdůrazníme spolu s nimi i nepříjemný šum a praskot. Podobně je tomu na dolním konci pásma, kde spolu s basy zdůrazňujeme obvykle i brum. Zdůrazňování okrajových částí pásma předpokládá tedy skutečně kvalitní signál a míra zdůraznění nesmí být přehnaná. Praxe ukazuje, že rozumně zdůrazňující korektory zdvihají úroveň okrajových kmitočtů u 40 a 20 000 Hz nejvýše o +12 až 15 dB, tj. asi 4 až 5krát proti středu pásma u 1000 Hz. Potlačení okrajových kmitočtů si lze dovořit o něco větší, ale obvykle i tato míra (–12 až 15 dB) stačí pro běžnou potřebu.

Obr. 6. Dvoutranzistorový univerzální předzesilovač s korekcemi pro různé zdroje signálu

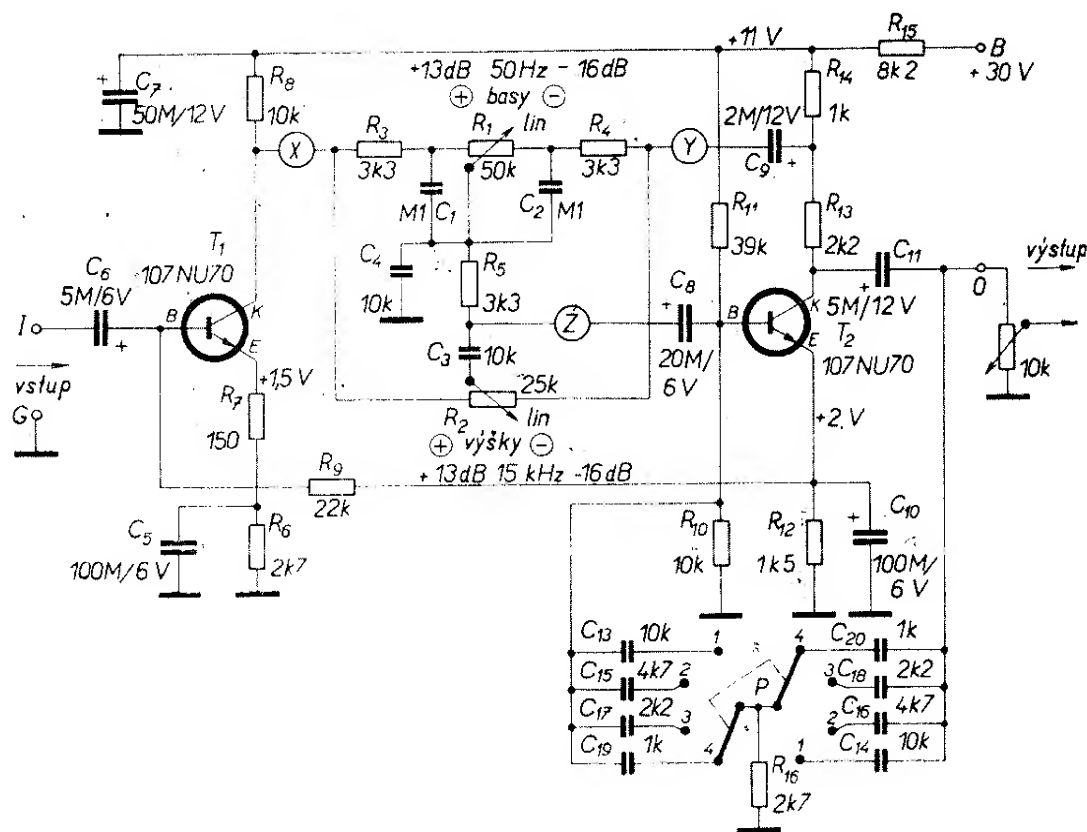


Takto pracující korektory se při poslechu hudby ukazují jako optimální a ani v krajních polohách příliš nemění přirozenou barvu zvuku.

Také u elektrofonických hudebních nástrojů se korektory dobře uplatňují pro určitou změnu barvy a lze je do zesilovačů snadno zařadit. Je mnoho různých zapojení, která lze rozdělit zásadně do několika skupin, jejichž vlastnosti si stručně rozebereme. Nejčastěji se objevují korektory plynule proměnné, kde jako ovládací prvky jsou použity běžné vrstevné potenciometry. Některá zapojení pracují na principu kmitočtové závislosti děličů napětí, kde se mění míra zdůraznění zvolených okrajových kmitočtů, zesílení ve střední oblasti (tzv. přechodové kmitočty) zůstává prakticky stálé. To je nejméně vhodný typ korektoru a má řadu nedostatků. Při funkci zvedá a potlačuje také střed pásma, kterého si dobrý korektor takového typu nemá vůbec všimnout. Regulátory výšek a

basů se značně ovlivňují navzájem, nemají vůbec možnost nastavit zcela rovný kmitočtový průběh a přitom ještě ten nejrovnější průběh, jehož jsou schopny dosáhnout, neleží uprostřed celkového odporu dráhy potenciometrů, ale asi 10 % od jednoho kraje. Proto se sem musejí dávat potenciometry se speciálním průběhem (typu S), jejichž rovnoměrnost je iluzorní, zvláště pak při dvojitých potenciometrech pro stereofonní přenos.

Proto se v posledních letech tento typ korektoru opouští a jeho místo zaujímá modernější zpětnovazební korektor, jež ke slušné funkci stačí obyčejné lineární potenciometry. Jsou schopny dosáhnout přibližně rovnou charakteristiku a tento bod leží u obou potenciometrů dosti blízko středu odporové dráhy. Středem pásma pohybují se daleko méně a i subjektivně jsou při poslechu lepší, protože při ovládání poněkud mění kmitočty, od něhož začínají zdůrazňovat či odřezávat. Přitom ponechávají střední část



Obr. 7. Plynule proměnné korekce a filtr proti šumu – typ Henry (v poloze 1 nastává odřezávání kmitočtů od 4 kHz, v poloze 2 – od 6 kHz, 3 – 10 kHz a 4 – 20 kHz)

pásma přibližně rovnou. Jako typický příklad řešení uvádíme dvě zapojení těchto korektorů, převzatá z továrně vyráběných zesilovačů zahraniční výroby.

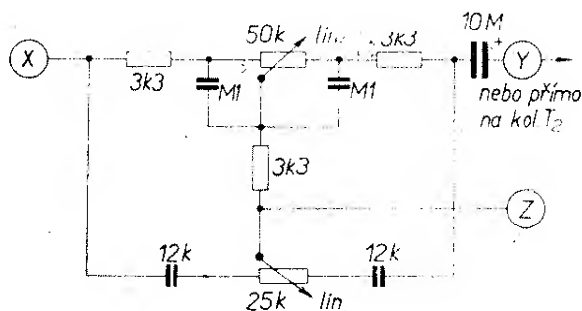
Korektor Henry je zapojen na obr. 7 mezi dvěma tranzistory. První z nich  $T_1$  se funkce korektoru nijak neúčastní a slouží jen k zesílení signálu. Signál pokračuje na kmitočtově závislý obvod, složený ze dvou částí, z nichž horní sestává z  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  a  $R_1$  a působí na dolním konci pásma, kdežto  $C_3$  spolu s  $R_2$  na horním. Korektor je zapojen v obvodu záporné zpětné vazby mezi kolektorem a bází tranzistoru  $T_2$ . Jsou-li běžce obou potenciometrů ve střední (nakreslené) poloze, jsou časové konstanty  $RC$  obou polovin korektoru stejné a děliče tedy působí jen kmitočtově nezávislý útlum ve smyčce zpětné vazby. Pohne-li se běžec např.  $R_1$  směrem vlevo, zeslabuje se zpětná vazba na nízkých kmitočtech a současně klesá i přechodový kmitočet. Zesílení  $T_2$  se zeslabením vazby zvětší a výsledkem je zdůraznění basů. Pohyb běžce vpravo vyvolává silnější vazbu s účinkem právě opačným, basy se potlačují. Zcela podobně pracuje  $R_2$ , který ovládá pásmo výšek.  $R_5$  odděluje oba obvody od sebe a omezuje jejich vzájemnou závislost.  $C_4$  upravuje mírně průběh ve střední části pásma. Obr. 8 ukazuje velmi podobný korektor firmy Leak, který lze zapojit do stejného místa mezi oba tranzistory  $T_1$  a  $T_2$ , který však má poněkud jiný obvod pro řízení výšek. Dává poněkud méně zvlněnou střední polohu, kdy je nastavena rovná kmitočtová charakteristika, ale krajní polohy se vzájemně více liší.

Ovšem malé rozdíly ve funkci korektoru jsou bezvýznamné a zvláště pak při elektrofonické hudbě se nemusíme na různé úchytky od přesně rovného průběhu vůbec ohlížet. Hlavní je tu jednoduchost, běžné součástky a snadné ovládání. Oba korektory uspokojují každého zájemce z této oblasti.

Korektor Henry (obr. 7) má ještě jeden praktický doplněk, který se někomu dobře hodí. Je to několikastupňový tzv. šumový filtr, středně ostře odřezávající vysoké tóny počínaje přibližně od uvedených kmitočtů nahoru. Oba sběrné kontakty přepínače  $P$  jsou spřaženy. Výs-

kový filtr se uplatňuje např. pro změkčení barvy zvuku strunných nástrojů. Jinak může poněkud zlepšit subjektivní dojem při poslechu šumících desek či pásků, nebo odřezá interferenční hvizdy v rozhlasovém poslechu. Do jisté míry to samozřejmě dokáže i výškový korektor, jenže šumový filtr ponechává o něco delší rovnou část průběhu ve středu pásma.

Plynule ovládané korektory se téměř nepoužívají v profesionálním a studiovém provozu, protože prakticky neumožňují nastavení rovného kmitočtového průběhu ve střední poloze potenciometrů a odchylky, které amatérům nevadí, by tu vadily zvláště při přepisech a vůbec při vážné práci. Kromě toho průběhy korekcí při otáčení potenciometrů nejsou ani zdaleka úměrné úhlu natočení. Obvykle udávané „učesané“ průběhy v odborné literatuře taktně zamlčují úhly natočení při



Obr. 8. Korektor firmy Leak

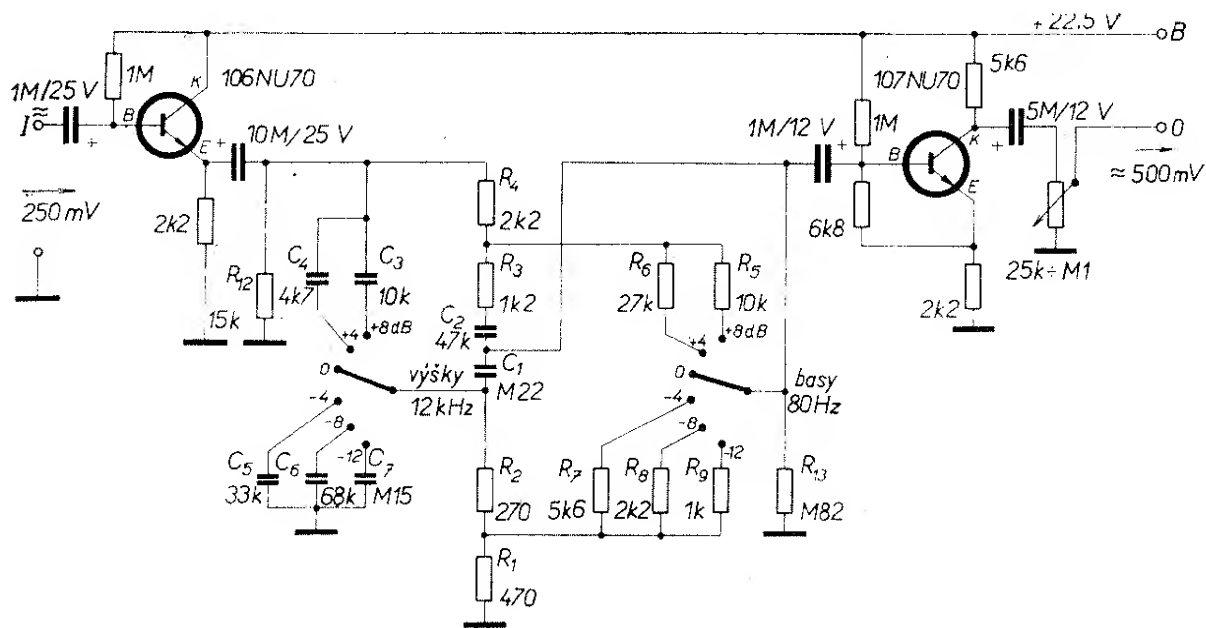
jednotlivých průbězích. Také u uvedených korektorů jsou průběhy blízké ideálu jen v krajních polohách a ve středu dráhy (to je úspěch), ovšem mezipolohy jsou už problematické. Např. dánská firma Lyrec se pokusila takový korektor kompenzovat řadou paralelních a sériových členů a průběhy zlepšit, ovšem i přes větší složitost tu hlavní nevýhody zůstaly. Proto většina výrobců kvalitních elektroakustických zařízení a vážných pracovníků se zvukem volí raději tak zvané stupňové korektory, které nemají uvedené nevýhody.

Jsou to v podstatě vícepolohové přepínače, u nichž každá poloha odpovídá určitému potlačení či zdůraznění některého kmitočtu. Z principu vyplývá, že

jednotlivé polohy lze navrhnout zcela libovolně, protože mohou mít samostatné kmitočtové závislé členy s jakýmkoli průběhem. Odstupňování jednotlivých skoků se dá zvolit dostatečně jemné, že ucho při změně polohy o 1 stupeň nic nepozná. Hlavní nevýhodou stupňových korektorů je jejich složitost. Obsahují obvykle mnoho součástí, které navíc musí být dosti přesné a zabírají podstatně více místa, než plynule ovládané korektory. Pro stereofonii musí být navíc zdvojené, a to už bývá pro amatéry neúnosné. Ale vlastnosti těchto korektorů jsou tak lákavé, že došlo k vývojové práci, která měla za úkol zjistit, zda přece jen není nějaké kompromisní řešení obcházející nevýhody, tíživé pro běžného zájemce. Výsledek takové snahy uvádí obr. 9.

Je to *stupňový korektor původního řešení*, který používá dva obyčejné šesti-polohové jednosegmentové přepínače TESLA PN 533 16. Je určen hlavně pro tranzistorový stereofonní zesilovač a oba kanály se vejdou na jedinou přepínačovou desku. Základem korektoru je kmitočtově nezávislý dělič z odporů  $R_1$ ,  $R_2$  a kapacity  $C_1$  v dolním členu, odporů  $R_3$ ,  $R_4$  a kapacity  $C_2$  ve členu horním. Horní

i dolní člen mají shodné časové konstanty  $160 \mu s$  a jsou tedy oba naladěny na 1 kHz. Impedance horního členu děliče je asi 4,6krát větší než impedance dolního členu a tento poměr je samozřejmě zachován bez ohledu na kmitočet. Dělič je vlastně složen ze dvou zcela samostatných a kmitočtově nezávislých děličů. Jeden je odporový a uplatňuje se na kmitočtech od 1 kHz nahoru, kdy se kapacity  $C_1$  a  $C_2$  chovají jako zkrat a neuplatní se. Na kmitočtech pod 1 kHz se naopak uplatňuje dělič kapacitní a přestávají fungovat odpory. Pak je snadné připojit prostě k hornímu nebo dolnímu členu děliče odpor nebo kondenzátor, který vnese do stálého dělicího poměru kmitočtovou závislost podle přání. Výsledkem je téměř ideální korektor s minimem součástí, s libovolně volitelnými skoky a přechodovými kmitočty. Používá úplně běžné součástky z normalizované řady E12, které nemusí být zvlášť přesné. Jen u hlavního děliče se doporučuje použít odpory a kapacity s tolerancí pod 5 %, má-li být průběh ve středu pásma nezvlněný. Ale i větší tolerance v děliči dávají výsledné zvlnění podstatně menší než všechny plynule ovládané korektory. Střední poloha



Obr. 9. Profesionální stupňový korektor

je tedy přesně definována a střed pásma okolo 1 kHz se při funkci obou přepínačů, ať samostatně či dohromady, vůbec nemění. Je toho dosaženo vnitřní kompenzací, k níž slouží odbočky mezi  $R_1/R_2$  a mezi  $R_3/R_4$ . Také sběrný kontakt výškového přepínače není ve středu děliče, ale pod jeho kapacitní částí. Je to nezbytné proto, že se při přepínání zařazují do kmitočtově závislých okruhů kromě připojovaných součástek i části hlavního děliče. Uvedená kompenzace pracuje beze zbytku. Průběhy korekcí se mohou libovolně měnit jiným odstupňováním připojovaných součástek. Lze použít samozřejmě i daleko více poloh.

Uvedené odstupňování je kompromisní a velikost zvolených skoků je na hranici poznatelnosti. Vyjádřeno stručně: když při poslechu o změně korekcí o 1 stupeň předem nevíte, nic nepoznáte. Když změnu čekáte, ucho ji zaznamená. V přirozeném hudebním signálu se však přepínání korekcí prakticky nepozná. Krajní polohy jsou zdůrazněny a potlačeny asi tak, jak to dělá většina plynulých korektorů zpětnovazebního typu, a průběhy jsou souměrné ke středu pásma z obou stran.

Ke správné funkci korektoru je však třeba zachovat dvě základní podmínky. Vstup se musí napájet ze zdroje o nízkém vnitřním odporu, tj. buď z emitorového sledovače, nebo aspoň z malého kolektorového odporu tranzistoru v emitorovém zapojení. Výstup korektoru naopak má pracovat prakticky bez zátěže, v praxi tedy co možná do největšího odporu, aby se neměnil dělicí poměr u nízkých kmitočtů a neklesalo tak zesílení na nejnižších kmitočtech. Zde je tedy vhodný např. tranzistor v emitorovém zapojení s velkým neblokovaným odporem v emitoru, který má vysokou vstupní impedanci a korektor nezatěžuje. Zájemci se mohou přidržet naznačeného zapojení. Odpor  $R_{12}$  a  $R_{13}$  uzavírají vstup a výstup korektoru a slouží hlavně jako nabíjecí odpory pro vstupní a výstupní izolační elektrolyty. Jejich záporné póly jsou tak spojeny se zemí a korektor pracuje bez stejnosměrné složky. Přepínání je proto zcela tiché a v reproduktoru se neozývají rušivé zvuky při ovládání korektoru. Bez

těchto odporů je každý skok provázen slyšitelným klapnutím.

Celkový útlum uvedeného korektoru na kmitočtu 1 kHz je 4,55, tj. —13,2 dB. Pokud se zachová uvedená zásada připojení, lze korektor postavit úplně samostatně a zařadit před libovolný zesilovač s vysokou vstupní impedancí. Protože při použití s hudebními nástroji se pracuje převážně s jednokanálovou technikou, vejde se na jeden kotouček přepínače celkem 12 poloh, z nichž jedna je neutrální. Zájemci si sami jemnějším odstupňováním a přidáním dalších poloh mohou snadno vytvořit korektory libovolného průběhu na okrajích pásma. Jde to dobře zkusmo, ale zkušenější si součástky snadno vypočítají podle vztahů:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}, \text{ odkud } R = \frac{1}{2\pi fC},$$

$$\text{a } C = \frac{1}{2\pi fR}.$$

Navrhujeme-li kapacity v přepínači k odporům v děliči, uvažujeme součet odporů  $R_1 + R_2$ , nebo  $R_3 + R_4$ , kdežto při výpočtu přepínaných odporů v basovém korektoru uvažujeme jen kapacity  $C_1$  nebo  $C_2$  a sériové odpory  $R_2$  či  $R_3$  zanedbáme. Za kmitočet  $f$  dosazujeme ten kmitočet, při kterém chceme mít přibližné zdůraznění či potlačení o 3 dB, tj. asi o 30 %. Průběhy budou téměř souběžné s udanými. Korektor se dá osadit součástkami i jiných hodnot, aniž by se změnil průběhy, jestliže ovšem hodnoty všech odporů zvětšíme či zmenšíme stejnou měrou, jakou zmenšíme či zvětšíme kapacity. Tedy: kolikrát větší odpor, tolikrát menší kapacita – a naopak. Mění se tím však celková impedance korektoru a proto musíme vždy předem zjistit, zda vnitřní odpor předchozího stupně je nejmeně o řád (tj. aspoň desetkrát) menší než nejmenší impedance korektoru (v poloze maximálního zdůraznění výšek), a vstupní odpor následujícího stupně stejnou měrou (o řád) větší. Doporučené hodnoty součástek jsou však optimální pro použití korektoru v tranzistorových zesilovačích.



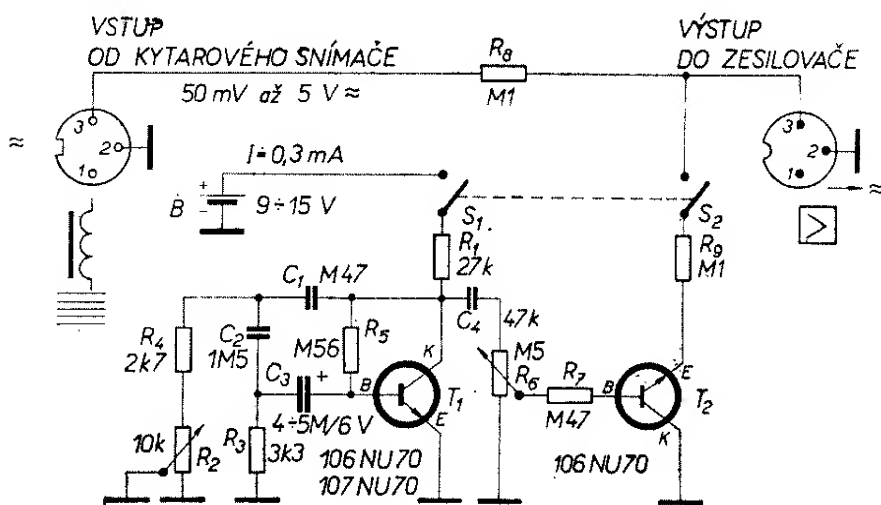
## Elektronické vibráto ke kytáře

Časté dotazy zájemců vyvolaly potřebu uveřejnit jednoduchý obvod se dvěma tranzistory, který amplitudově moduluje procházející signál ze snímače elektrofonické kytary a vyvolává tak chvění výsledného tónu na výstupu výkonového zesilovače. Správněji by se tomu mělo říkat tremolo, které označuje amplitudovou modulaci tónu, kdežto termín vibráto je určen pro modulaci kmitočtovou, kdy se v určitém pravidelném sledu mění kmitočet přenášeného tónu. Jak došlo vlastně k takové záměně termínů, když se u elektrofonických nástrojů téměř výhradně setkáváme s termínem vibráto? Původní vibráto se vyvolávalo ručně, prostě prst tisknoucí strunu nástroje se rytmicky kýval vpřed a vzad na hmatníku, čímž se do jisté míry zkracovala a prodlužovala znějící struna a měnila se i výška (kmitočet) tónu. Výsledné rytmické chvění tónu mělo však jak kmitočtovou, tak amplitudovou složku. Jakmile se tento efekt začal u elektrofonických nástrojů vyrábět elektrickou cestou – a tady už šlo většinou jen o amplitudovou modulaci, tj. tremolo, byl výsledek tak podobný ručnímu vibratu, že nikoho ani nenapadlo změnit vžitý název na tremolo. K nejasnosti přispěl i rozvoj magnetofonové techniky, kde se zase naopak kolísavá změna rychlosti posuvu pásku v technickém slangu označuje jako tremo-

lo, ač jde prakticky jen o modulaci kmitočtovou. Proto zůstaňme raději i my u vžitého názvu vibráto, a to tím spíše, že příjemně znějící signál tohoto prostého přístroje připomíná silně pravé ruční vibráto prováděné prstem na struně. Hodí se samozřejmě pro všechny elektrofonické i elektronické hudební nástroje a opakovací kmitočet lze řídit v širokém rozmezí.

Základní zapojení ukazuje, že obvody jsou velmi jednoduché (obr. 10). K napájení se hodí nejlépe dvě až tři ploché baterie v sérii, dávající napětí 9 až 15 V. Spotřeba je nepatrná, jen 0,3 mA při 15 V, a baterie při běžném provozu vydrží aspoň rok, a to se ještě dřív zkazí než vybíjí. Jednotku lze vestavět přímo do nástroje, kdy je bateriové napájení zvlášť výhodné. Jinak ji lze napájet ze síťového zdroje přes oddělovací filtr, který srazí napětí na požadovanou hodnotu. Ovládací prvky jsou jen tři: vypínač, kterým přístroj uvádíme do chodu, potenciometrem  $R_2$  měníme opakovací kmitočet vibráta a  $R_6$  mění jeho hloubku, tedy vlastně hloubku amplitudové modulace. Ovládací prvky musí být lehce přístupné. Lze je tedy umístit přímo na nástroji a vypínač se může ovládat i nohou. Každý hudebník si sám zvolí vyhovující uspořádání.

*Jak obvod pracuje:* Stupeň, osazený tranzistorem  $T_1$ , je známý oscilátor subakustického kmitočtu (několik Hz), založený na posuvu fáze signálu přiváděného z kolektoru na vlastní bázi tak, že se z původně negativní vazby stává na jed-



Obr. 10. Vibrátový doplněk pro elektrofonickou kytaru

nom zvoleném kmitočtu vazba kladná a zesilovač se na tomto kmitočtu rozkmitá. Zvolené uspořádání kmitočtového členu  $RC$  mezi výstupem a vstupem se poněkud liší od běžného uspořádání se stejnými hodnotami odporů a kapacit, které by dávalo špatné přizpůsobení buď na kolektorové, nebo na vstupní straně u báze. Použitý člen se stoupajícími kapacitami od kolektoru k bázi přináší menší ztráty a ochotnější nasazení kmitů. Proto zde vyhoví prakticky každý dobrý tranzistor i s menším zesilovacím činitelem.

Při napájecím napětí 15 V je rozkmit více než 2 V (skoro 8 V špička – špička), takže lze použít i menší napájecí napětí. Kmitočet oscilací lze vypočítat přibližně podle vzorce

$$f = \frac{1}{2\pi RC \cdot \sqrt{3}}.$$

Tak byl navržen uvedený člen přibližně na kmitočet 6 Hz, který je nejpoužívanější např. u elektrofonických varhan a uchu je velmi příjemný. Potenciometrem  $R_2$  se dá měnit asi od 4 (běžec dole) do 14 Hz (běžec nahoře) a  $R_4$  zabraňuje vysazení oscilací v krajní poloze  $R_2$ . Přes  $C_4$  jde signál z oscilátoru na regulátor intenzity vibrátu  $R_6$  (od nuly do maxima), který přes běžec a  $R_7$  přivádí jeho větší či menší část na druhý tranzistor  $T_2$ . Ten neslouží jako zesilovač, ale jako proměnný odpor, jehož ohmická hodnota závisí na velikosti přiváděného budicího signálu. Protože přiváděný signál je střídavý, chová se  $T_2$  jako proměnný odpor v rytmu přiváděného kmitočtu z oscilátoru. Tento odpor tvoří dolní člen děliče napětí spolu s  $R_9$ , horním členem děliče je  $R_8$ . Na dělič se přivádí signál z kytarového snímače a přes odpor  $R_8$  prochází přímo na následující zesilovač, je-li spínač  $S_2$  rozpojen. Spojíme-li však spínač  $S_2$  a tedy i s ním spojený  $S_1$  (dohromady je to obyčejný dvoupólový spínač), oscilátor se rozkmitá a  $T_2$  mění svůj odpor od několika set kΩ v zavřeném stavu až téměř k nule ve stavu otevřeném. Tím se mění dělicí poměr uvedeného děliče a tím též velikost signálu z kytary, který jím prochází do výstupní svorky. Záporné půlvlny tranzistor  $T_2$

otevívají, kladné ho zavírají. Změna odporu  $T_2$ , dělicího poměru výstupního děliče a tedy i změna amplitudy procházejícího signálu není skoková (jak by to bylo při použití kontaktního spínače), ale plynulá právě tak, jak  $T_2$  mění plynule svůj odpor mezi minimální a maximální hodnotou podle přiváděného signálu z oscilátoru. Dělicí poměr  $1 + R_8/R_9$  dává útlum asi 6 dB, tj. 50 % amplitudovou modulaci. Hloubku modulace lze částečně změnit volbou jiných odporů  $R_8$  a  $R_9$ . Není vhodné je však příliš zmenšovat, protože  $T_2$  bez signálu má velmi malý odpor, který je jednak velmi nelineární, jednak se přechody báze-kolektor a báze-emitor vzájemně velmi liší. Při odporu  $R_9$  menším než 47 kΩ můžeme proto na procházejícím signálu objevit pomocí osciloskopu určité nelineární zkreslení, i když se ve znění skutečných tónů uchem nepozná. Zvolené hodnoty 0,1 MΩ jsou optimální pro procházející signál až do 5 V. Kytara dává maximální signál asi 0,5 V, spíše však méně.

Pro tyto obvody se hodí téměř každý tranzistor. Doporučené tranzistory npn lze klidně zaměnit typy pnp (0C71 a 0C75 apod.), obrátíme-li polaritu zdroje a elektrolytu  $C_3$ . Ovšem typ npn je vůbec výhodnější, protože ho lze snadněji napájet ze společného zdroje elektronkových zesilovačů s uzemněným záporným pólem. Máme-li osciloskop a tónový generátor, přivedeme do vstupního konektoru přístroje nf signál okolo 1 V a na stínítku osciloskopu, připojeného k výstupnímu konektoru zesilovače, nastavíme asi 20 až 30 period sinusového signálu. Pak přístroj zapneme a je-li všechno v pořádku pozorujeme rytmické kolísání amplitudy v rozmezí asi 50 %. Při pečlivé práci se chyby v tak prostém přístroji nedají očekávat.

### Mechanická konstrukce

Rozložení součástek není kritické, ale je vhodné dodržet přibližné rozložení podle schématu. Součástky upevníme např. do děrované izolační destičky, vespod je propojíme a sestavený celek umístíme do malého kovového pouzdra tak,

aby nemohl nastat nikde zkrat obvodů s kovovou stěnou. Pouzdro spojíme s nulovým vodičem přístroje. Procházející hřidelky potenciometrů a popřípadě také uvnitř umístěného vypínače necháme delší, aby se celek dal vestavět i pod tlustší panel. Doporučuji předem změřit nebo vyzkoušet všechny součástky, zvláště kapacity  $C_1$ ,  $C_2$  a  $C_3$ . Vyhoví tu úplně běžné tolerance kapacit, popřípadě úchyly v kmitočtu oscilátoru se snadno upraví přidavnými kapacitami nebo změnou odporů  $R_2$ ,  $R_3$  a  $R_4$ . Konektory jsou běžné miniaturní třípólové přírubové typy. Přestože je impedance kytarových snímačů poměrně nízká a signál dosti velký, doporučujeme použít pro vedení signálu nejen z vibrátového přístavku k zesilovači, ale také jako přívodu ke kytarě dobrý stíněný kabel, aby se do přívodu nedostávalo nepříjemné kapacitní bručení.

*Ještě jeden námět:* při vestavění vibrátového přístavku do hotového zesilovače nebo při napájení z něho lze vynechat vypínač zdroje  $S_1$  i vypínač děliče  $S_2$ , jestliže je následující zesilovač dostatečně citlivý a nevadí ztráta asi 50 % signálu od kytary. Vibráto spustíme pak prostým otočením potenciometru  $R_8$ , protože oscilátor je trvale v chodu, spolu se zapnutým zesilovačem.

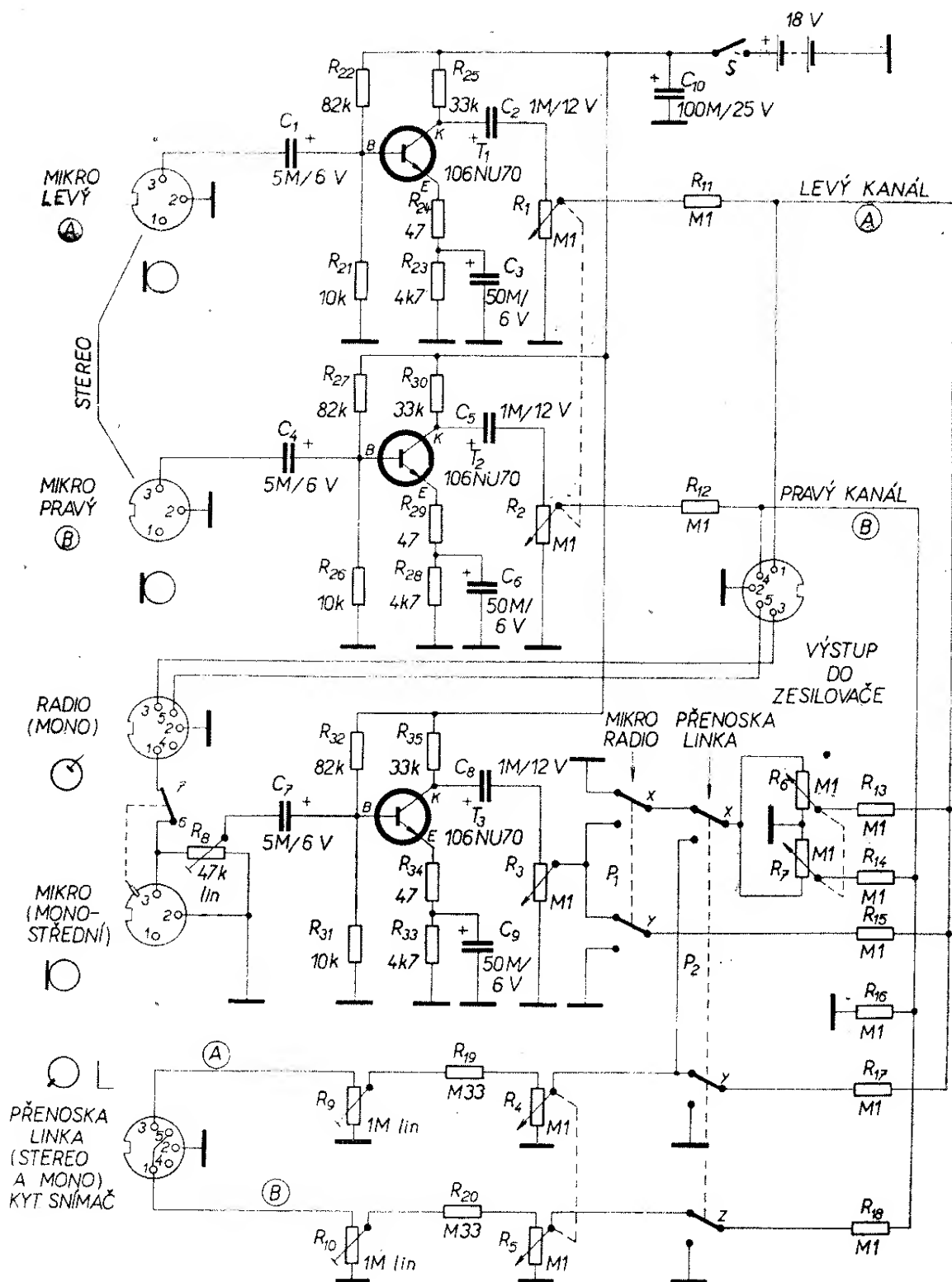
## Směšovač pro pět zdrojů signálu

Z řady různých zapojení jsme vybrali pro zájemce *směšovač firmy Grundig*, který je na obr. 11. Má výhodu v tom, že ho lze použít kromě míchání jednokanálových monofonních zdrojů také pro dvoukanálový stereofonní signál. Při mono – a to je v orchestru nejčastější použití – se prostě spojí svorky 1–4 ve výstupním konektoru a všechny zdroje se míchají do jediného výstupního kanálu. Zapojení je prosté. Mikrofony mají vlastní jednotranzistorové zesilovače s mírnou zpětnou vazbou neblokovanými emitorovými odpory  $R_{24}$ ,  $R_{25}$ ,  $R_{34}$ . Vstupní impedance je asi 5 k $\Omega$ . Připojují se sem dynamické mikrofony s odporem cívky asi

200  $\Omega$ , pro větší citlivost je vhodné použít převodní mikrofonní transformátor TESLA se vzestupným převodem asi 1 : 20. Signál, zesílený v tranzistorech asi 50krát, se vede na potenciometry 0,1 M $\Omega$ , kde se může podle potřeby zeslabit. Přes oddělovací odpory stejné velikosti jde na společnou sběrnici, kde se míchá se signálem z ostatních vstupů. Vstup pro střední mikrofon má vstupní regulátor  $R_8$ . Je to potenciometrový trimr, nastavitelný šroubovákem na zvolenou vhodnou vstupní citlivost. Kromě toho za zesilovačem  $T_3$  je přepínač  $P_1$ , jímž je možné zvolit přenos signálu ze středního mikrofonu nebo radia do směrovače. Jsou to proti sobě zapojené potenciometry  $R_6$  a  $R_7$ , nejlépe se speciálním průběhem (typ S), jimiž je možno signál posílat do obou kanálů současně nebo vzájemně mezi nimi přejíždět. Tím je možno např. ve stereofonním záznamu dosáhnout fiktivního pohybu sólisty z jedné strany na druhou, anebo v hudebním použití dosáhnout různé efekty. Druhý (tlačítkový) přepínač  $P_2$  se stlačí tehdy, chceme-li vstup  $L$  použít pro monofonní linku nebo přenosku, popřípadě kytarový snímač se vstupem na svorce 3. Jinak dolní vstup posílá signál přes regulátory a oddělovací odpory do levé i pravé sběrnice. Vstup  $A$  i  $B$  tu má své vlastní potenciometrové trimry  $R_9$  a  $R_{10}$ , jimiž je možno libovolně zmenšit vstupní citlivost, jak je to výhodné např. pro kytarové snímače, nemá-li ani při nejsilnějších úderech do strun dojít k nemilému přemodulování zesilovače. V konektoru pro střední mikrofon je vypínací dotek 6 – 7, který je spojen, jestliže v konektoru není zástrčka. Pak jde do vstupu signál z monofonního přijímače, a to z diodového výstupu, který se sem propojuje stíněnou třípólovou šňůrou. Výstupní konektor je určen pro připojení stereofonního i monofonního zesilovače, přičemž obsazení kontaktů v konektorech opět odpovídá mezinárodním zvyklostem. Souhlasí i s nejnovějšími čs. výrobky. Zájemci si obsazení doteků a úpravu vstupů pro starší systém snadno pozmění, ale bývá výhodnější právě starý systém připojení magnetofonů, zesilovačů apod. přestavět na nový. Celý návod se drží nového výhodného systému

obsazení kolíků pětipólových zásuvek, které už jsou běžně ke koupi v radioamatérských prodejnách.

*Jak směšovač napájíme:* je kresleno samostatné bateriové napájení, které pohodlně dodá asi 2 mA proudu po celou



Obr. 11. Směšovač pro pět druhů signálu (Grundig)

dobu životnosti baterie. Tak se výhodně napájejí směšovače, pracující často na různých místech, což může být právě v orchestrech. Ovšem přece jen méně starostí dá napájení ze síťového zdroje vestavěného v zesilovači, který je stejně nezbytný. Pak není ani nutný spínač  $S$  a napájecí napětí např. 30 V ze zesilovače se přivede na + pól  $C_{10}$  přes odpor asi 6,8 k $\Omega$ , který sráží přebytečné napětí a působí jako oddělovací filtr spolu s  $C_{10}$ .

**Poznámky ke stavbě:** Směšovač vestavíme nejlépe do vhodné plechové skříňky. Součástky upevníme na izolační děrované destičky a vespod je vzájemně propojíme. Ven vyvedeme na nejprístupnější stranu potenciometry  $R_1$  až  $R_7$ , z nichž  $R_1/R_2$  a  $R_4/R_5$  mohou (ale nemusí) být dvojité, tj. s dvojitým souosým hřídelem, nebo tandemové se společným hřídelem pro oba.  $R_6/R_7$  musí být tandemový. Zpředu budou dále přístupné tlačítkové či jiné přepínače  $P_1$  a  $P_2$ , rozhodneme-li se je tam dávat, a popřípadě spínač  $S$ . Vzadu vyvedeme přírubové konektory pro 5 vstupů a výstup, a vedle nich umístíme potenciometrové trimry  $R_8$ ,  $R_9$  a  $R_{10}$  tak, aby jejich drážky byly přístupné pro šroubovák malými otvory vedle konektorů a dala se tak seřizovat požadovaná citlivost vstupů. Nulový vodič přístroje musí být spojen s kovovým pouzdem a všechny vstupní i výstupní připojovací kabely musí být dobře stíněné. Volíme-li pouzdro na směšovač plechové a zespoda dobře uzavřené plechovým víkem, nemusíme uvnitř ani jediný spoj dělat stíněný.

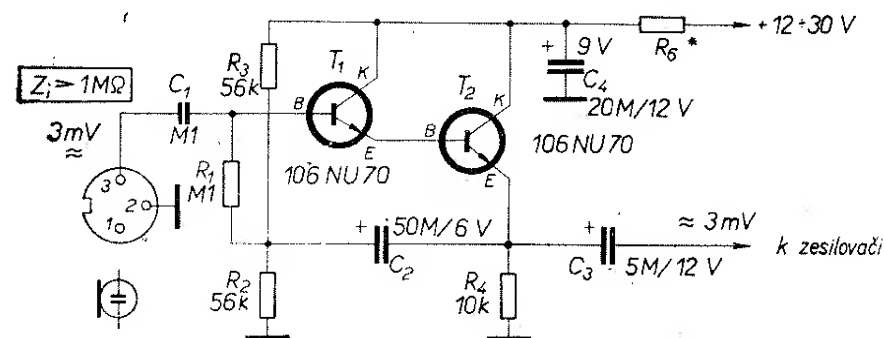
Kdo by potřeboval více kanálů, např. pro větší počet mikrofonů apod., přidá jednoduše další mikrofonní zesilovače přes oddělovací odpory ke sběrnícím levého nebo pravého kanálu. Podobně se

mohou přidat i jiné vstupy pro zdroje s větším signálem, jak je to u dolního vstupu pro linku, snímač nebo krystalovou přenosku.

## Adaptor s vysokou vstupní impedancí pro krystalový mikrofon

Obvod je na obr. 12. Má dva tranzistory a úmyslně mu neříkáme zesilovač, protože adaptor nezesiluje napětí přiváděného signálu. Tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  představují vlastně dvojitý emitorový sledovač v tzv. Darlingtonově zapojení, kde emitor  $T_1$  budí bázi  $T_2$ . Dvojice má značné výkonové zesílení, ale napětové zesílení je o něco menší než jedna. Znamená to, že výstupní signál má prakticky stejnou velikost jako vstupní, ovšem můžeme ho odebírat na velmi malém zatěžovacím odporu. (Samotný krystalový mikrofon vyžaduje obvykle zatěžovací odpor 1 až 5 M $\Omega$ !) Získáme tak vlastně transformátor impedance, který nám umožní připojit krystalový mikrofon k běžným tranzistorovým zesilovačům s poměrně nízkou vstupní impedancí.

Z emitoru  $T_2$  je zavedena přes  $C_2$  silná kladná zpětná vazba do vstupního obvodu. Přivádí se sem výstupní signál ve stejné fázi i velikosti se signálem vstupním, takže zdroj vstupního signálu (tj. většinou krystalový mikrofon) není nucen dodávat do vstupu prakticky žádný výkon a pracuje naprázdno. Vstup obvodu vůči zdroji signálu představuje tedy velmi vysokou zatěžovací impedanci, ač odpory okolo vstupu jsou mnohem menší. Vstupní impedance obvodu je tím vyšší,



Obr. 12. Adaptor s vysokou vstupní impedancí pro krystalový mikrofon



čím větší proudový zesilovací činitel  $B$  mají oba tranzistory.

Vstupní obvod je proto citlivý na kapacitní bručení, podobně jako elektronkové zesilovače, takže vstupní přívody od mikrofonu i připojovací konektor je nutno dobře stínit. Výstupní obvod je však na nízké impedanci několika  $\Omega$  a stínit ho není třeba. Snese i velmi dlouhé vedení obyčejným nestíněným drátem. To se může hodit v případě, že adaptor umístíme do těsné blízkosti nebo přímo do pouzdra krystalového mikrofonu spolu s napájecí baterií a k zesilovači vedeme dlouhou linku. Při nepatrné spotřebě vydrží v takovém uspořádání baterie opět velmi dlouho. Napájíme-li obvod ze síťového zdroje ostatních zesilovačů, nastavíme odporem  $R_6$  napětí na  $C_4$  přibližně na uvedenou hodnotu asi 9 V. Výstup adaptoru připojíme ke vstupu následujících předzesilovačů o požadované citlivosti. Vstupní napětí, přiváděné do adaptoru, může být (při napájecím napětí 9 V) až do  $2 V_{ef}$ , takže by se sem mohly připojit i jiné zdroje vyžadující vysokou zatěžovací impedanci, např. krystalová přenoska, vakuová fotonka aj. Ovšem pro přenosky známe praktičtější způsob připojení k zesilovači s nízkou vstupní impedancí bez uvedeného adaptoru. To se může v některých případech hodit také pro krystalové mikrofony, dávají-li značně velký signál. Blíže o tom v dalším odstavci.

### Paralelní kapacita ke krystalovým zdrojům signálu

Krystalové přenosky a mikrofony jsou v podstatě kondenzátory o kapacitě obvykle několik set až tisíců pF. Budíme-li je akustickým tlakem (zvukem) nebo chvěním snímacího hrotu v gramofonové drážce, dávají maximální možné napětí jen tehdy, pracují-li prakticky naprázdno, tzn. jsou-li zatíženy na výstupu tak vysokým odporem, že jeho ohmická hodnota je vyšší než kapacitní odpor krystalu na nejnižším přenášeném kmitočtu. Proto např. běžná krystalová přenoska se Seignettovy soli o kapacitě okolo 1000 pF musí pracovat do odporu

ne nižšího než 3 M $\Omega$ , má-li přenášet bez zeslabení kmitočty okolo 50 Hz. Ale vstup běžného přijímačového nf zesilovače má impedanci okolo 0,5 M $\Omega$ , takže s takovou přenoskou nám signálu valem ubývá od 300 Hz dolů a při reprodukci postrádáme basy. U krystalových mikrofonů s obvykle větší kapacitou je to příznivější, zejména proto, že se připojují zvláště k elektronkovým zesilovačům se vstupní impedancí mnohem vyšší. Většinou však nastává případ, že krystalový zdroj signálu dává mnohem větší napětí, než je nutno k vybuzení zesilovače ve středu zvukového pásma. Ale tranzistorové zesilovače mají zase poměrně nízkou vstupní impedanci, takže by došlo k uvedenému úbytku na dolním konci pásma. Takový případ nastane třeba tehdy, máme-li krystalový mikrofon vestavěn v hudebním nástroji, např. přímo v harmonice. Takový mikrofon odevzdává signál až kolem stovky mV, a jen o něco menší je signál z mikrofonu, do kterého se zblízka zpívá. V takovém případě se dá krystalový mikrofon (a obvykle i přenoska) zapojit elegantním způsobem k tranzistorovému zesilovači se vstupní impedancí okolo 50 až 100 k $\Omega$  přímo, aniž bychom potřebovali uvedený adaptor a museli oželeť kýžené hluboké tóny, čili basy.

Kapacitu mikrofonu nebo přenosky uměle zvětšíme tak, že paralelně k nim připojíme přidavný kondenzátor. Funkce takové přidavné kapacity je prostá: spolu s kapacitou mikrofonu vytvoří kapacitní dělič, který je kmitočtově zcela nezávislý (viz stať o stupňovém korektoru) a rozdělí nám původní signál naprázdno tolikrát, kolikrát je větší kapacita přidavného kondenzátoru než kapacita krystalu. Např. mikrofon o kapacitě 2000 pF, který dává naprázdno signál např. 30 mV, bude dávat jen 3 mV, zatížíme-li ho kapacitou 20 000 pF, tj. desetkrát větší než je jeho původní kapacita. A proto ho můžeme zatížit také desetkrát menším odporem, tj. okolo 100 k $\Omega$ , tzn. vstupním odporem kteréhokoliv z popisovaných předzesilovačů. Dostaneme rovný kmitočtový průběh i na dolním konci pásma a předzesilovač přitom nepřemodulujeme. V praxi zjistíme vhodnou kapacitu přidavného kondenzátoru

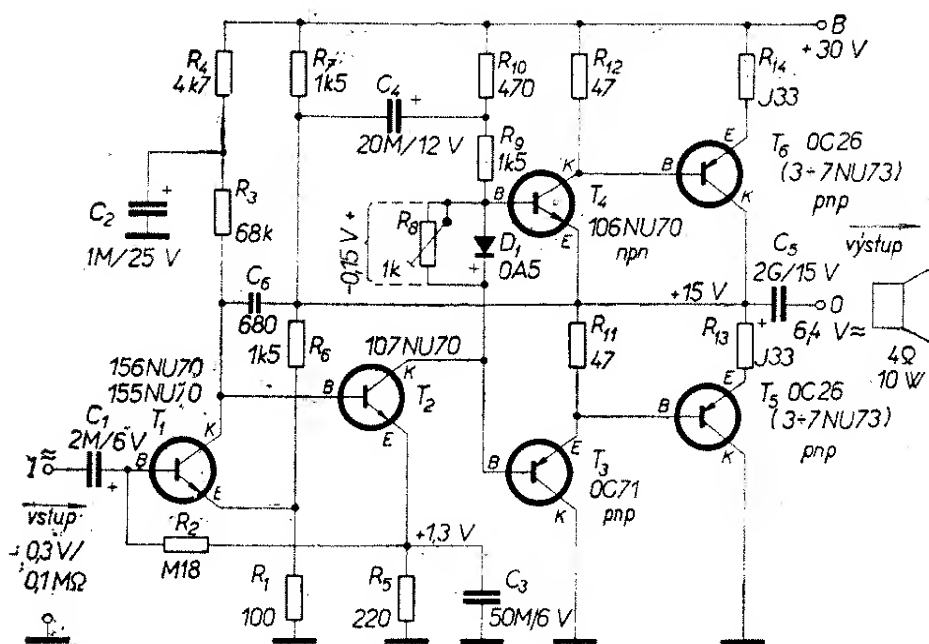
tak, že přidáváme stále větší kapacity tak dlouho, dokud nám mikrofon nebo přenoska ještě stačí svým signálem vybudit zesilovač naplno. U přenosky a krystalových mikrofonů uvnitř hudebních nástrojů se nám to podaří vždycky, zde je signálu přebytek. U mikrofonů pro zpěv bývá signálu méně, ale i zde je to nadějně tím spíše, že můžeme připustit úbytek nízkých kmitočtů, které se v lidském hlasu vůbec nevyskytují. Tato metoda však selže, chceme-li krystalovým mikrofonem nahrávat zvuk orchestru nebo zpěvu z větší vzdálenosti, kdy využíváme naplno jeho citlivosti, obvykle okolo 1 až 5 mV/ $\mu$ b. Akustický tlak 1  $\mu$ b si můžeme představit asi tak, že ho na membráně mikrofonu vyvoláme středně hlasitou řečí nebo zpěvem ze vzdálenosti 1 m. Pak je třeba použít uvedený adaptor.

Jinak se dá k přizpůsobení použít také speciální mikrofonní transformátor o sestupném převodu, ale takový se v ČSSR běžně nevyrábí a zájemci si daleko snadněji postaví jednoduchý adaptor. Před stavbou však doporučujeme podniknout vždycky uvedenou zkoušku s paralelní kapacitou. Praxe ukázala, že to ve většině případů beze zbytku stačí pro krystalové mikrofony a přenosky.

## Výkonový zesilovač 5 až 20 W

Zesilovač (obr. 13) je ucelenou jednotkou a je schopen samostatné funkce v jakékoliv soustavě zesilovačů. Lze ho kombinovat s různými předzesilovači, filtry a regulátory. Je osazen celkem šesti tranzistory, z nichž  $T_1$ ,  $T_2$  a  $T_4$  jsou typu npn,  $T_3$ ,  $T_5$  a  $T_6$  typu pnp. Jde tedy o doplňkové zapojení, využívající společně tranzistorů obou typů vodivosti.

Signál vstupuje na bázi  $T_1$  v emitorovém zapojení. Po zesílení jde přímou vazbou z kolektoru na bázi  $T_2$ . Na kolektoru  $T_2$  se objeví signál už o napětí, rovném plnému výstupnímu napětí zesilovače, ovšem jeho výkon je ještě nepatrný a stačí vybudit jen následující doplňkový inverter (obraceč fáze). Pracují v něm tranzistory  $T_3$  a  $T_4$ , které se budí společně do vzájemně propojených bází diodou  $D_1$  a odporem  $R_8$ . Protože oba tranzistory jsou opačné vodivosti, způsobuje u nich stejný budicí signál opačný účinek. Např. při kladné půlplně signálu na kolektoru  $T_2$  se otevírá  $T_4$ , teče jím proud a napětí na něm klesá. Ve stejném okamžiku se dolní tranzistor  $T_3$  zavírá, proud zaniká a je na něm napětí. V příští záporné půl-



Obr. 13. Výkonový zesilovač 10 W. Odpory  $R_{13}$  a  $R_{14}$  mají být označeny j33 (= 0,33  $\Omega$ )

$$30 \cdot \frac{2}{65} R_K$$

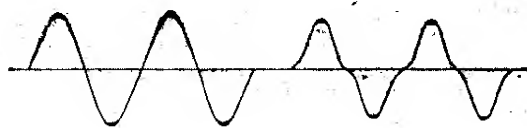
periodě je to opačně. Zesílený proud (napětí se v invertoru ani v koncovém stupni nezesiluje) pokračuje na báze koncových tranzistorů  $T_5$  a  $T_6$ , kde se znovu zesílí ve stejné fázi jako na invertoru. Na výstupu zesilovače ( $C_5$ ) se tak objeví zesílený signál o dostatečném výkonu k napájení reproduktorů.

Moderní tranzistorové zesilovače větších výkonů pracují výhradně v tzv. třídě B. Označujeme tak pracovní režim koncových a popřípadě i inverzních tranzistorů, kdy je vhodným předpětím nastaven pracovní bod tak, aby každá polovina zesilovače ( $T_3/T_5$  a  $T_4/T_6$ ) zesilovala prakticky jen jednu půlvlnu signálu, kdežto ve druhé půlvlně může odpočívat. Dosahuje se tak výborné účinnosti, která se projevuje hlavně tím, že zesilovač odbírá z napájecího stejnosměrného zdroje větší proud jen v okamžiku, kdy musí na výstupu odevzdávat silnější výkon. Jeho spotřeba je tedy úměrná odevzdávanému výkonu do zátěže. Je-li signál slabý nebo nebudí-li se zesilovač, odběr ze zdroje klesá na určitou minimální hodnotu, kterou musíme stanovit velmi odpovědně. Říkáme tomu klidový odběr a nastavujeme ho předpětím bází koncových tranzistorů. Protože v našem případě máme přímou vazbu na invertor, který pracuje také ve třídě B, ovládáme klidový odběr předpětím bází invertoru. Předpětí tu vzniká na odporu  $R_8$ , paralelně připojeném k diodě  $D_1$ . Protéká jimi stálý ss proud do kolektoru  $T_2$ , který pracuje ve třídě A (stálý odběr proudu ze zdroje, nemění se s velikostí signálu). Proud vytváří na  $R_8/D_1$  úbytek asi 0,15 V, který právě zhruba odpovídá požadovanému předpětí pro třídu B. Je-li hodnota  $R_8$  příliš velká, úbytek a tedy předpětí se zvětší a invertorem i koncovým stupněm protéká větší klidový proud, a naopak. Protože v klidu je na inverzních a koncových tranzistorech právě polovina napájecího napětí, způsobuje větší klidový proud i větší ztrátový výkon jejich kolektorů. Jím se tranzistory zbytečně ohřívají, zvětšují tím svůj škodlivý zbytkový proud a teplota dále stoupá. Po chvíli se tak tranzistory mohou rozžhavit a zničí se, není-li napájecí okruh vhodně jištěn. Pro bezpečný provoz je tedy

vhodné volit co nejmenší předpětí a tedy i nejmenší klidový odběr. Toho se dosáhne tak, že prostě zkratujeme  $R_8$ , takže báze  $T_3$  a  $T_4$  jsou spojeny přímo. Klidový proud se vlastně zmenší na hodnotu zbytkového proudu a tranzistory pracují nejbezpečněji. Ovšem takový pracovní režim vyhoví jen v případě, kdy zesilovač dodává stále plný výstupní výkon a nemáme příliš přísné požadavky na zkreslení signálu. To je například tehdy, využíváme-li zesilovače pro napájení drobných elektrických motorků střídavým proudem, vyráběným v nf generátoru nebo v elektroakustickém použití při přenosu řeči ve veřejném rozhlasu, kde jediným měřítkem je srozumitelnost. Jde to také někdy u elektrofonických hudebních nástrojů, zvláště kytar, které pracují téměř stále naplno. Proč je však nevhodný takový provoz s potlačeným klidovým proudem?

Řekli jsme si, že ve třídě B pracují obě poloviny koncového stupně střídavě. Při přechodu z otevřeného stavu do uzavřeného klesá tedy v jednom tranzistoru plný proud téměř až na nulu, v druhém z nuly roste do maxima. A právě přechod kolem nuly z jednoho tranzistoru na druhý není při potlačeném klidovém proudu plynulý. Vzniká tu jakýsi skok tím, že proud v jedné polovině zanikne dříve než začne ve druhé. Výsledkem je tzv. přechodové zkreslení signálu, které ukazuje obr. 14 a snadno je odhalíme sluchem nebo na osciloskopu. Hrajeme-li přes zesilovač takto zkreslující, uslyšíme v nejtišších pasážích chraptivý a nečistý zvuk. Ale čím je zvuk silnější, tím méně se takové zkreslení projevuje.

Odpomoc je snadná. Regulačním odporem  $R_8$  nastavíme předpětí a tedy klidový odběr proudu na optimální hodnotu, kdy přechodové zkreslení právě zmizí. Hod-



Obr. 14. Vlevo je čistý sinusový signál, vpravo je signál se silným přechodovým zkreslením

nota proudu protékajícího budičem je v takovém pracovním bodě ještě dostatečně malá a nezhoršuje tepelnou stabilitu zesilovače. V našem případě je to asi 20 až 25 mA ze zdroje 30 V<sub>ss</sub> ve stavu bez signálu. Klidový proud lze bez nebezpečí zvýšit až na 30 až 35 mA, je-li zesilovač teplotně stabilizován. O tom dále. Správný okamžik, kdy zmizí přechodové kreslení, poznáme i bez osciloskopu podle šumu. Na zesilovač připojíme reproduktor a přiložíme ucho co nejbližší k membráně. Uslyšíme jemný šum, který se podobá tichému rachocení a chrastění tím více, čím je větší přechodové zkreslení. Nastavíme tedy  $R_8$  tak, aby chrastění přešlo v jemný, stejnoměrný a čistý šum. Má to být právě zmíněných 25 mA klidového odběru.

### Stabilizace

Germaniové a v menší míře i křemíkové tranzistory mají nepříjemný zvyk zvětšovat svůj zbytkový proud ( $I_{KBO}$ ) s rostoucí teplotou pouzdra, ať už vlivem vlastního zahřívání procházejícím proudem, nebo značnou teplotou okolí. Abychom tomu předešli a zabránili tak někdy i zničení tranzistorů, opatříme výkonové zesilovače účinnou stabilizací, která při rostoucí teplotě snižuje předpětí inverzních a výkonových tranzistorů a zmenšuje tak procházející klidový proud směrem k původní hodnotě za studena. Používáme k tomu s výhodou nelineárních teplotně závislých prvků, např. termistorů nebo diod. V našem zesilovači na obr. 13 je klidový proud stabilizován germaniovou diodou s přivařeným hrotem ( $D_1$ ) TESLA 0A5 nebo 0A9. Diody, a to zvláště tohoto typu, mají schopnost udržovat na sobě poměrně stále napětí, protéká-li jimi slabý ss proud v propustném směru. Toto tzv. přední napětí se téměř nemění ani když proud vzrůstá a se stoupající teplotou se dokonce zmenšuje. To je právě vlastnost vhodná pro náš případ. Ještě lépe je použít termistorů 100  $\Omega$  z výroby ZPP Šumperk, označené TR N2 100. Jsou velikosti odporu asi  $\frac{1}{4}$  W a jejich tělísko upevňujeme tepelně vodivě (elektricky izolovaně) k chladicím deskám výkonových

tranzistorů). Stoupne-li teplota termistoru, zmenší se jeho odpor asi o 3 až 4 % na 1 °C změny teploty a předpětí se tím sníží podle požadavku. Termistor TR N2 100 prostě zapojíme místo diody  $D_1$  a paralelním  $R_8$  nastavíme klidový proud podle předchozího popisu.

### Zpětné vazby

V zesilovači (obr. 13) jsou tři okruhy zpětné vazby. Jeden se uzavírá odporem  $R_2$  z emitoru  $T_2$  do báze  $T_1$  a funguje jen pro ss proud. Určuje předpětí vstupního tranzistoru  $T_1$  a stabilizuje jeho proud. Protože celý zesilovač je stejnosměrně vázán, ovlivňuje to tedy také stabilitu celého zesilovače. Stoupne-li např. proud  $T_2$ , zvětší se úbytek na  $R_3$  a napětí kolektoru  $T_1$  klesne. Tato změna se přenesla na bázi a emitor  $T_2$ , a přes  $R_2$  i zpět na bázi  $T_1$ . Snížené předpětí vrací kolektorový proud směrem k původní hodnotě – a samozřejmě i naopak. Jde tedy o zápornou zpětnou vazbu s velmi příznivým účinkem, protože je dosti silná, zahrnuje totiž dva tranzistory  $T_1$  a  $T_2$ .

Druhá smyčka záporné zpětné vazby se uzavírá dokonce přes celý zesilovač. Výstupní napětí se přivádí přes dělič  $R_6/R_1$  do emitoru  $T_1$  a má podobný účinek jako první vazba, jenže je silnější a navíc působí stejně pro stejnosměrné i střídavé signály. To znamená, že kromě stabilizace pracovního bodu nám vydatně zlepšuje všechny přenosové vlastnosti zesilovače. Stejnou měrou, jakou zmenšuje vstupní citlivost zesilovače proti stavu bez vazby, zvyšuje jeho vstupní impedanci na hodnotu i přes 100 k $\Omega$ , snižuje výstupní odpor (nezaměňujte se zatěžovacím odporem) na zlomky  $\Omega$ , zlepšuje kmitočtovou charakteristiku, a hlavně značně snižuje harmonické i intermodulační zkreslení. Samozřejmě příznivě ovlivňuje i přechodové zkreslení při malých signálech. Kapacitou  $C_6$  se zavádí fázová korekce ve smyčce zpětné vazby, aby se zmenšilo zkreslení zvláště na vyšších kmitočtech nad 7 kHz a aby klesla náchylnost ke kmitání, kterou bohužel přináší dosavadní germaniové nf tranzistory s nízkým mezním kmitočtem.

Třetí silná vazba je kladná. Výstupní napětí přivádíme přes  $C_4$  ve stejné fázi do kolektorového obvodu  $T_2$ , takže jím vlastně tento tranzistor i následující invertor přibuzujeme. Zvětší se tím rozkmit signálu na výstupu asi o 10 % a do stejné zátěže tak dostáváme od zesilovače větší výkon.

Ještě jedna slabá záporná zpětná vazba se zavádí do koncového stupně, a to dvěma malými odpory  $R_{13}$  a  $R_{14}$  v emitorech výkonových tranzistorů. Poněkud omezují zkreslení, vznikající v tomto stupni, ale také nepříznivě ovlivňují rozkmit výstupního napětí. I když ztráta není velká, přece jen se tento způsob vazby hodí hlavně pro zesilovače, napájené vyšším napětím nad 30 V.

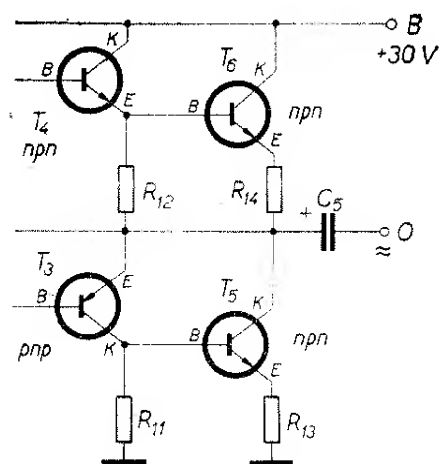
### Některé další vlastnosti výkonového zesilovače

Paralelně ke vstupu koncových tranzistorů (obr. 13) jsou odpory  $R_{11}$  a  $R_{12}$ , jejichž ohmická hodnota je kompromisem. Čím menší jsou tyto odpory, tím je menší vstupní odpor koncových tranzistorů a jejich mezní kmitočet vyšší. To je příznivé zvláště u běžného (a dosud jediného) výkonového tranzistoru typu 0C26 a jeho mimotolerantních odvozenin. Tyto malé odpory spolu s  $R_{13}$  a  $R_{14}$  také značně linearizují vstupní odpor  $T_5$  a  $T_6$  a tím tedy i budící proud. Tak opět klesá zkreslení zvláště při malých signálech. Zesilovač může trvale pracovat bez zátěže na výstupu, v odlehčeném stavu.

Kombinace  $R_4/C_2$  představuje filtr, který vylučuje složku brumu z napájecího proudu citlivého vstupního tranzistoru. Zesilovač lze pak napájet ze síťového zdroje s velmi úsporným filtrem.

**K osazení tranzistory:** Vstupní  $T_1$  má být vf tranzistor s velkým proudovým zesilovacím činitelem  $B$ , aby měl velký zisk a mohla být tedy použita též silnější zpětná vazba. Typ 156NU70 je tu optimální.  $T_2$  může být běžný slitinový typ s vyšším  $B$ . Invertor  $T_3$  a  $T_4$  osazujeme zásadně tranzistory se středním  $B$ , asi 40 až 80, jaké najdeme nejspíše mezi typy 106NU70 a 0C71. Je dobré, když se hodnota  $B$  tranzistorů  $T_3$  a  $T_4$  neliší při

proudu 10 mA vzájemně více než o 30 %. Větší  $B$  totiž znamená i podstatně větší zbytkový proud  $I_{KEO}$  a tedy zvýšenou možnost zpětného průrazu takového tranzistoru, zvláště není-li jeho závěrné napětí dostatečně velké. O tom blíže v kapitole o tranzistorech. Koncový stupeň  $T_5$  a  $T_6$  osadíme nejspíše párovanými tranzistory 0C26, nebo kterýmikoliv dvěma jinými tranzistory řady na 10 W nebo 50 W, tj. 3 až 7NU73, nebo 2 až 7NU74. Pro reprodukci hudby, zvláště v oblasti nižšího výkonu, stejně dobře vyhoví i tranzistory 3 W typu 0C30 a jejich odvozeniny 3 až 5NU72. Nejsou-li ke koupi párované dvojice, lze koncový stupeň osadit i jednotlivě koupenými tranzistory podobného typu, jejichž  $B$  při 100 mA nemá lišit více než o 30 %. Místo čs. typů lze použít i tranzistory zahraniční podobných vlastností, přičemž dbáme na to, aby byl zachován přibližně shodný činitel  $B$  a dostatečně vysoké závěrné napětí. Jiné vlastnosti nás nemusí zajímat. Výborně se do tohoto zesilovače hodí moderní vf planární křemíkové tranzistory americké, japonské, francouzské či německé výroby, jaké se budou za nějakou dobu vyrábět také u nás zvláště pro tranzistorové televizory. Jsou to většinou typy npn, kdežto pnp se vyskytují podstatně méně, hlavně jako záměrné doplňky k některým typům npn. Kdo by takovými tranzistory zesilovač osazoval a neměl křemíkový doplněk pnp na  $T_3$ , může použít



Obr. 15. Úprava výkonového zesilovače pro koncové tranzistory typu npn

i náš germaniový tranzistor 0C74 nebo GC500 až 502, vybraný s ohledem na odpovídající závěrné napětí a činitel  $B$ . Křemíkové výkonové tranzistory jsou většinou také npn, takže je v koncovém stupni musíme obrátit, emitory místo kolektorů a naopak. Báze se připojí také na opačnou elektrodu inverzních tranzistorů spolu s odpory  $R_{12}$  a  $R_{11}$ . Naznačuje to připojený obrázek invertoru a koncového stupně s takovým osazením (obr. 15). Protože i malé planární křemíkové typy mají kolektorovou ztrátu přes 1 W a vysoké závěrné napětí, obvykle přes 60 V, lze takový zesilovač napájet ze zdroje o napětí podstatně vyšším a získat i výkony okolo 40 W. Osazujeme-li  $T_3$  čs. germaniovým typem, můžeme přitom zapojit dva paralelně.

### Vzájemný vztah dosažitelného výkonu, vlastností tranzistorů a napájecího napětí

Celý problém je jednoduchý, ujasníme-li si předem, že tranzistor na rozdíl od elektronek se podobá spíše spínači, který v okamžiku sepnutí propouští i značný proud omezený ani ne tak vlastnostmi samotného tranzistoru, jako spíše napětím a vnitřním odporem napájecího zdroje a připojeného reproduktoru. Jinými slovy, tranzistory v koncovém stupni propouštějí v rytmu přiváděného budicího signálu větší či menší proud z napájecího zdroje do reproduktoru, a to *téměř bez ohledu na svou dovolenou kolektorovou ztrátu*. Osadíme-li tedy koncový stupeň stejného zesilovače menšími, např. 3W tranzistory 0C30, a jiný zesilovač 10W typy 0C26, dají nám oba zesilovače prakticky stejný maximální výstupní výkon při stejné zátěži a napájecím zdroji. Ovšem první zesilovač s 0C30 se přitom více zahřeje, což při přenosu přirozeného hudebního signálu nevadí, ale při trvalém buzení sinusovým signálem z generátoru asi na  $\frac{2}{3}$  plného výkonu by teplota stoupla až k dovoleným mezím. Je tedy nezbytné vždycky osazovat koncové stupně a také výkonové invertory (naš případ) vždycky jen takovými tranzistory, které jsou schopny bez zvláštních po-

tíží a zahřívání propustit maximální požadovaný proud při plném výkonu, a udrží také mezi kolektorem a bází nejméně plné napětí napájecího zdroje, raději ovšem asi o 20 až 50 % více. Proč nás zajímá závěrné napětí  $U_{KB \max}$  a nikoliv daleko kritičtější  $U_{KE \max}$ ? Protože koncové i inverzní tranzistory mají poměrně malé odpory mezi emitorem a bází, takže nejsou tak choulostivé na průraz mezi kolektorem a emitorem. Na místě  $T_2$  tomu tak není, takže použitý tranzistor 107NU70 musí mít závěrné napětí  $U_{KE \max}$  aspoň těch předepsaných 10 V. To má ovšem prakticky každý čs. malý tranzistor řady 103 až 107NU70. Na  $T_1$  je nepatrné kolektorové napětí, takže nás tu zajímá jen vysoký mezní kmitočet a činitel  $B$ .

Mnoho dotazů přichází na maximální možný výkon, který lze odebírat z našeho výkonového zesilovače a podobných typů. Lze to zjistit z velmi jednoduchých vztahů, které se ostatně používají také k poměrně přesnému výpočtu většiny výkonových zesilovačů třídy B. Vždy vycházíme z tranzistorů, které máme k dispozici a z přibližného předpokládaného výkonu na výstupu zesilovače. Jediné vhodné tranzistory u nás jsou tzv. malé slitinové nf typy pro budič, z něhož musíme při návrhu vycházet. Tranzistory 103 až 107NU70 a 101 až 104NU71 jsou výrobně naprosto totožné a dodavatel je třídí buď podle určitých vlastností, nebo také podle jiných obchodně politických hledisek, jako ostatně všichni výrobci na světě. Tak lze místo tzv. 165mW řady 101 až 104NU71 (0C72, 0C76 a 0C77) použít typů z tzv. 125mW řady 103 až 107NU70 (0C70, 71 a 75) vyhovuje-li daný kus činitelem  $B$  a závěrným napětím. Skutečné maximální dovolené hodnoty jsou samozřejmě také stejné u obou řad. Maximální dovolený kolektorový proud  $I_{KM}$  je 250 mA při  $U_{KE} = 0$  a  $U_{KE} = 0$  v praxi nikdy není. Povolíme tedy  $I_{KM} = 150$  mA, což je dostatečná záloha bezpečnosti. Následuje připojený výkonový tranzistor 0C26, jehož minimální proudový zisk  $B$  v okolí proudu 1A uvažujeme 30. Ten ovšem klesne asi na 40 % (lze snadno spočítat i změřit), protože máme mezi emitorem a bází připojen



malý odpor pro dosažení malého zkreslení a vyššího mezního kmitočtu. Výsledný činitel  $B$  uvažujeme tedy 12. Znamená to, že vstupní proud 150 mA z budiče se zesílí v koncovém tranzistoru 12krát na 1,8 A, což je maximální proud koncového stupně, s nímž můžeme pracovat při osazení dosažitelnými čs. tranzistory v budiči. Z jednoduchého vztahu pro maximální dosažitelný výkon na výstupu

$$P_{\max} = \frac{I_{KM} \cdot U_{\text{zdroje}}}{4} = \frac{1,8 \text{ A} \cdot 24 \text{ V}}{4} = 10,8 \text{ W}$$

zjistíme, že při respektování podmínek bezpečného provozu a při osazení podprůměrnými tranzistory  $T_5$  a  $T_6$  dosáhneme výkonu nejméně 10,8 W.

Dále uvažujeme reproduktory, které máme k dispozici. Pro běžné případy s čs. reproduktory vychází impedance jejich soustav 4  $\Omega$ . Aby dostaly příkon 10,8 W, musí být výstupní napětí zesilovače

$$U_{\text{výst}} = \sqrt{P_{\max} \cdot R_z} = \sqrt{10,8 \text{ W} \cdot 4 \Omega} = 6,56 \text{ V}_{\text{ef.}}$$

kde  $R_z$  je zatěžovací odpor zesilovače, tedy vlastně odpor kmitačky 4  $\Omega$ .

Je zesilovač schopen odevzdat takové napětí na zatíženém výstupu? V literatuře se na to často uvádí vzorec

$$U_{\text{výst}} = \frac{U_{\text{zdroje}} - 2 U_{\text{KEO}}}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{24 \text{ V} - 2 \cdot 0,5 \text{ V}}{2,82} = 8,16 \text{ V}.$$

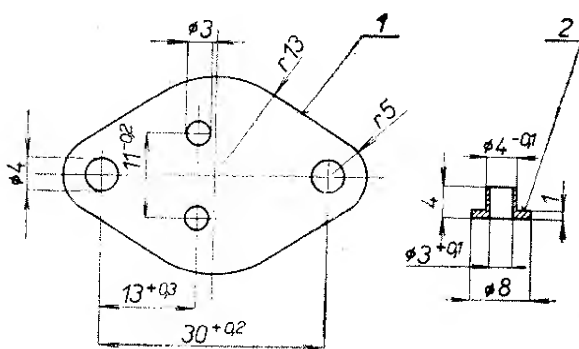
Při zdroji 24 V by mělo být tedy 8,16 V na nezatíženém výstupu. Protože při zátěži a velkých proudech při maximálním výkonu se značně uplatňují úbytky v budičích i výkonových tranzistorech, bude maximální výstupní napětí menší, a to právě asi těch 6,5 V, které jsme zjistili obráceným postupem, kdy jsme vycházeli z vlastností tranzistorů. Pro rychlou

orientaci doporučuji si zapamatovat jednoduché pravidlo, že zesilovače tohoto typu odevzdají do zátěže 4  $\Omega$  takový střídavý efektivní signál, který je o 5 až 10 % větší než čtvrtina napětí napájecího zdroje, tj. asi 27 % napětí zdroje. Ke zvýšení výkonu vedou jen dvě cesty: buď zvýšit napájecí napětí, aby se získal větší signál na výstupu, nebo zmenšit zatěžovací odpor na 3 až 2  $\Omega$ , čímž se zvětší výstupní střídavý proud. První cesta je nebezpečná zvláště pro budičí tranzistory  $T_4$  typu npn, které nevynikají příliš vysokým závěrným napětím. Typy pnp jsou v tom ohledu mnohem příznivější. Druhá cesta zase vede k proudovému přetěžování budičích i koncových tranzistorů (zvláště budičích) a ke značným úbytkům napětí, takže zisk je menší než by se dalo čekat. Konečně lze říci jako závěr z téměř pětileté zkušenosti s provozem několika stovek podobných výkonových zesilovačů, že při vhodně volených tranzistorech podle předchozího popisu je napájecí napětí 30 V naprázdno a 24 V při zatížení zcela bezpečné, zátěž 4  $\Omega$  na výstupu optimální z hlediska běžných reproduktorů, zkreslení i dosažitelného výkonu okolo 10 W. Kdo vybere tranzistory zvláště pro budič a invertor se závěrným napětím větším než je zaručených 32 V mezi kolektorem a bází, může při napájecím napětí 33 až 36 V získat výkon až 20 W při sinusovém buzení, což představuje v hudbě až 64 W špičkového výkonu. Větší činitel  $B$  u výkonových tranzistorů je podmínkou, aspoň 60 při 100 mA, abychom nepřetěžovali invertor. Všechny dobré vlastnosti zesilovače zůstanou zachovány a zkreslení se dokonce ještě sníží.

### Jak se rychle hledají příčiny závad ve výkonovém zesilovači

Podaří-li se čistě a důkladně postavit celý zesilovač a jsou-li všechny použité součásti v pořádku, bude pracovat na první zapojení. Při přetěžování, při neopatrné práci nebo v nečisté montáži může dojít k trvalému poškození některých tranzistorů průrazem z kolektoru na emitor. Podle toho, ve kterém tran-

zistoru se to stane, projeví se závada značným zvětšením odebíraného proudu až na několik A, je to tedy prakticky zkrat na zdroj. Zesilovač přestane ihned pracovat a musíme ho odpojit. Samozřejmě se dříve spálí pojistka, na kterou nikdy nezapomeneme. Pak vezmeme nějaký ohmmetr s malou spotřebou a přímým údajem, napájený ze zdroje o napětí nejlépe ne vyšším než 1,5 V ss. Je to např. moderní univerzální přístroj METRA DU 10 (dříve AVOMET II), který se vůbec výborně hodí na měření tranzistorových zesilovačů. Zvolíme rozsah  $k\Omega \times 1$  a postupně vyzkoušíme u všech tranzistorů přechod (odpor) mezi kolektorem a emitorem, aniž bychom je odpojovali z přístroje. Malé tranzistory tam mívají podle toho, v jakém obvodu jsou zapojeny, odpor od několika desítek ohmů do několika desítek kiloohmů, a tento odpor se vždy o něco liší, jestliže přiložený ss ohmmetr přepólujeme. Proražený tranzistor poznáme neomylně podle čistého zkratu obvykle mezi kolektorem a emitorem, přičemž přechody báze-kolektor a báze-emitor bývají v pořádku. Vyzkoušíme je ovšem také, odpor dobrého přechodu se opět musí lišit při přepólování ohmmetru. Tranzistory mají jednu výhodu (lze-li tu ovšem o výhodě vůbec mluvit), že přetížení nebo zkrat by vydržel bez závažného poškození, nebo se zcela prorazí a lze je s klidným svědomím vyměnit za dobré.



Obr. 16. Izolační součástky pro upevnění výkonových tranzistorů. 1 – izolační podložka ze slídy, polyesterové nebo teflonové fólie o síle asi 0,1 mm, 2 – průchodka z tvrdé tkaniny nebo jiného izolantu, odolného do 80 °C

Tranzistory s některými zachovanými přechody se někdy hodí jako nepříliš kvalitní diody do malých usměrňovačů.

Zjistíme-li, že všechny tranzistory jsou v dobrém stavu a závada funkce zesilovače trvá, vyzkoušíme ohmmetrem kvalitu všech elektrolytických kondenzátorů, přičemž je odpojíme aspoň jedním pólem. Dobrý elektrolyt ukáže nejdříve téměř zkrat a jakmile se nabije, výchylka ohmmetru směřuje k vyšším hodnotám. Při přepólování ohmmetru se úkaz opakuje. Nenajdeme-li ani tady závadu, necháme elektrolyty odpojené jedním pólem, odpojíme všechny tranzistory a změříme ohmickou hodnotu všech odporů. Stručně řečeno: *Chyba v tranzistorech, zvláště pak v inverzních  $T_4$  a  $T_5$  bývá pravděpodobná, v elektrolytech možná, v odporech výjimečná.*

### Jak uvedeme zesilovač do chodu

Postupujeme od začátku opatrně, podle předchozího odstavce zkontrolujeme ohmmetrem všechny součástky, tranzistory a diody, které hodláme vestavět do zesilovače a které si třeba jako bezvadné přineseme z obchodu domů. Taková vstupní kusová a důkladná kontrola zachrání mnoho tranzistorů, času a zlobení. Nemusí ji dělat jen ten, kdo opravdu nesežene dobrý ohmmetr. A takových přístrojů je v radioklubech Svazarmu a polytechnických dílnách i mezi lidmi opravdu dost. Měřidlo lze samozřejmě také improvizovat a měřit tranzistory i ostatní součástky velmi jednoduše. Stačí jakékoliv ručkové měřidlo a jeden monočlánek. Ruce a hlava se předpokládají. Hotový zesilovač připojíme nejdříve na zdroj asi třetinového či polovičního napětí a změříme, zda se napájecí napětí dělí přibližně na polovinu na kondenzátoru  $C_5$ . Pak připojíme reproduktor. Dotkneme-li se navlhčeným prstem vstupní svorky 1, musíme už slyšet slabé bručení. Pak napětí zvýšíme na plných 24 až 30 V, nastavíme klidový odběr asi na 25 mA a vyzkoušíme zesilovač v provozu. Kdo má měřicí přístroje, udělá si samozřejmě kontrolu důkladnou. Technické údaje najdete ve schématu.

## POZOR PŘI MĚŘENÍ!

Výkonové tranzistory čs. výroby 0C26 a většinou podobné zahraniční mívají nízký mezní kmitočet v emitorovém zapojení, obvykle i pod 4 kHz. Od tohoto kmitočtu výše jejich výkonové zesílení značně klesá na zlomky hodnot okolo 1 kHz. Kdybychom je při měření nutili dodávat plný výkon přes tyto mezní kmitočty, snažily by se ho dodat za cenu zvýšeného zatížení invertoru. A to by znamenalo konec tranzistorů  $T_3$  a  $T_4$  během několika vteřin. Kdybychom např. měřili zesilovač se zátěží při plném výkonu na 1 kHz a náhle přepnuli kmitočet generátoru při stejném vstupním napětí na 10 až 20 kHz, stoupne odběr ze zdroje několikanásobně a za chvíli můžeme vyměňovat poražené tranzistory v invertoru. Při takovém měření musíme značně snížit budicí napětí zesilovače tak, aby odběr ze zdroje na vysokých kmitočtech nebyl větší, než je maximální odběr při plném výkonu na 1 kHz a níže. Ve skutečném provozu takové přetížení nemůže nastat, protože přirozený signál, tj. hudba, řeč a signál el. hudebních nástrojů obsahují kmitočty přes 4 kHz převážně jen jako harmonické nebo formanty, jejichž energetický podíl ve zvukovém spektru je prakticky zanedbatelný. Na tom je ostatně založen např. magnetický nebo gramofonový záznam, kde se silně zdůrazňují kmitočty v oblasti formantů. Také výškové reproduktory jsou schopny vyzářit jen malý zlomek výkonu hloubkových reproduktorů, které pracují s nimi ve společných soustavách.

Tolik na vysvětlenou těm, kteří se obávají, že zesilovače s běžnými nf výkonovými tranzistory zůstávají v něčem pozadu za elektronkovými a dokládají to právě jejich neschopností vydat plný výkon přes 4 kHz. Jak je vidět, tento nesporný fakt nijak nevádí při přenosu přirozeného signálu, pro který zesilovače stavíme. Kmitočtovou charakteristiku nikdy neměříme při plném výkonu, ale asi při 0,5 až 1 W, má být od 40 do 22 000 Hz rovná s odchylkou max — 2 dB. Pro zajímavost: Je-li výkon ve středu pásma mezi 400 až 2000 Hz v hudbě okolo 10 W, v oblasti přes 10 kHz už je to jen několik desítek mW, nejsou-li to někdy miliwatty samotné.

A to dodají i ty nejhorší tranzistory. Dbejme jen, aby i ty malé dosažitelné výkony na vysokých kmitočtech nebyly zkreslené. Lze tu nastavit optimum volbou velikosti  $C_6$ , ovšem jen podle měřiče zkreslení a osciloskopu. Při dobrých tranzistorech a výkonu do 1 W lze na 8 kHz dosáhnout harmonického zkreslení maximálně několika desetin %. Výše nemá smysl měřit harmonické zkreslení, protože druhá a další harmonické už nejsou slyšet. Vůbec neúčelnější je měřit intermodulační zkreslení, tj. podíl součtových a rozdílových kmitočtů v signálu, složeném ze dvou různých kmitočtů, např. 60 a 6000 Hz v poměru 1 : 4 apod. Měřicí metody najdou vážní zájemci zvláště v zahraniční literatuře nebo v připravovaných čs. normách.

### Poznámky k mechanické konstrukci výkonového zesilovače

Z elektrického hlediska vůbec nezáleží na rozložení součástí, takže se můžeme řídit hledisky jen praktickými a estetickými. Stavíme-li zesilovač na plošných spojích, dáme na destičku všechno kromě výkonových tranzistorů, výstupního elektrolytu  $C_5$  a eventuálně odporů  $R_{13}$  a  $R_{14}$ . Vývody z destičky mohou být prostě tuhé holé zapojovací dráty o  $\varnothing$  0,8 mm, jimiž se lehká destička přímo připájí na svorkovnici nebo jednoduše k výkonovým tranzistorům, které uložíme na vhodné velké chladičí plochy z hliníkového plechu silného asi 2 mm. Destičku se součástkami už jinak nemusíme upevňovat, je dobře upevněna na samotných drátech. Výkonové tranzistory mají mít chladičí desky o ploše aspoň 80 až 100 cm<sup>2</sup>, vzájemně samozřejmě izolované, jsou-li spojeny přímo s kolektorem. Chladičí deska  $T_5$  může tedy být uzemněna. Výhodnější je však uložit oba tranzistory na společnou větší chladičí desku izolovanou přes slídové podložky o síle asi 0,1 až 0,2 mm, jaké někteří zahraniční výrobci běžně dodávají ke každému výkonovému tranzistoru spolu s izolačními průchodkami pro připevňovací šrouby. Tyto drobnosti lze však snadno vyrobit podle obr. 16. Výkonové tran-

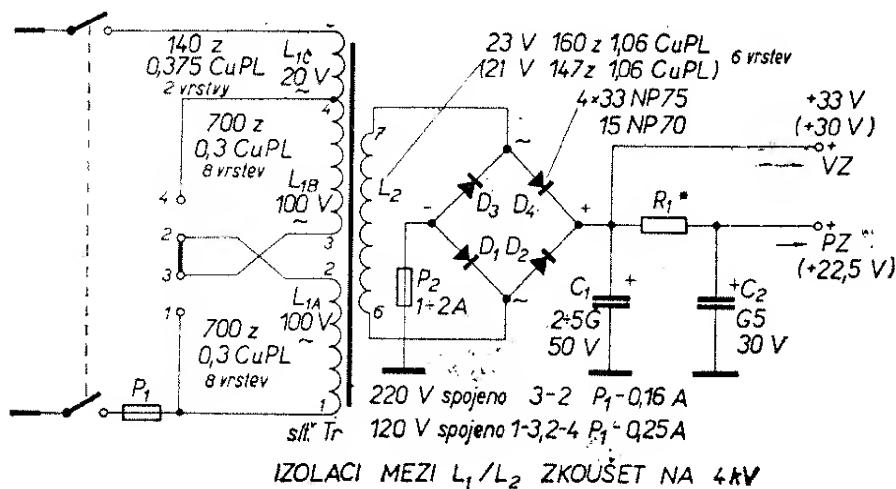
zistory utáhneme co nejpevněji, plech musí být dokonale hladký a rovný, aby přenos tepla byl co nejlepší. Použijeme-li ke stabilizaci místo diody  $D_1$  výhodnější termistor TR N2 100, obalíme jeho tělísko tenkou fólií z pevné plastické hmoty (stačí rozstřížená bužírka PVC) a krátkou plechovou objímkou ho připevníme do blízkosti výkonových tranzistorů tak, aby se ohříval společně s nimi. Pozor, aby přitom nedošlo ke zkratu tranzistorových vývodů s objímkou nebo chladičskou deskou.

## Napájecí síťový zdroj pro jeden až dva výkonové zesilovače 10 W

Základní zapojení je na obr. 17. Síť zapínáme vždy dvoupólovým spínačem, za nímž má následovat pojistka  $P_1$ . Vhodným voličem, nejlépe kotoučkovým přepínačem (nikdy ne mžikovým páčkovým přepínačem!) nastavujeme síťové napětí 220 V nebo 120 V tak, že spojujeme do série nebo paralelně obě hlavní sekce primáru  $L_{1A}$  a  $L_{1B}$ . Sekundár  $L_2$  dává tak velké střídavé efektivní napětí naprázdno, aby na filtračním elektrolytu  $C_1$  bylo ss napětí max. 30 až 33 V<sub>ss</sub> bez odběru.  $L_2$  tedy musí dávat 21 až 23 V<sub>ef</sub>. Ohmický odpor  $L_2$  a přetransformovaný odpor primáru musí být co nejmenší, aby nebyly velké úbytky ve vinutí při maximálním odběru. Napětí  $L_2$  se usměrňuje na můstkovém diodovém usměrňovači,

který je osazen běžnými křemíkovými nebo germaniovými diodami o závěrném napětí  $U_{KA}$  aspoň 100 až 120 V, a o dovoleném předním proudu  $I_{AK}$  aspoň 300 až 500 mA. Vyhoví tedy všechny Ge diody 3 až 6NP70, 13 až 37NP75, nebo 43 až 46NP75. Volíme samozřejmě levnější typy s nižším závěrným napětím, nechceme-li ovšem později přejít na zdroj s vyšším napájecím napětím. Stačí si pamatovat, že bezpečně lze v můstkovém zapojení použít diody se závěrným napětím asi 3krát větším, než je stejnosměrné napětí zdroje naprázdno.

Filtrační kapacita  $C_1$  je značně velká, 5000  $\mu F$ , ale stačí už 2000  $\mu F$  na trvalé provozní napětí alespoň 30 V. Vhodné moderní elektrolyty jsou TESLA TC 937 5G, nebo TC 937 2G. Po zapnutí síťového napětí se elektrolyt nabíjí značným nárazovým proudem, který následkem určitého odporu a indukčnosti vinutí transformátoru dosahuje, ale nepřekračuje dovolenou hodnotu špičkového proudu diod v usměrňovači. Nemusí tu tedy být ochranný odpor, který by zhoršoval vnitřní odpor zdroje. Přímo z  $C_1$  napájíme jeden až dva výkonové zesilovače 10 W, aniž by bylo nutno proud dále filtrovat. Je to jedna vynikající přednost zesilovačů ve třídě B, že mají v klidu nebo při malých signálech nepatrný odběr, který takový jednoduchý filtr bez tlumivky kryje snadno s nepatrnou bručivou složkou 100 Hz. Takto napájené výkonové zesilovače třídy B mají klidový odstup rušivého napětí přes -80 dB, což je hodnota prakticky



Obr. 17. Síťový zdroj pro zesilovače 10 W a předzesilovače. Síťový transformátor je navinut na plechy EI 28×32 mm, počet plechů síly 0,5 mm je 64, plocha středního sloupku je 8,5 cm<sup>2</sup>, počet závitů na 1 V je 7, sycení železa  $B = 0,75$  T

nedosažitelná u elektronkových zesilovačů třídy AB i se složitějšími filtry. Uchem těsně u reproduktoru bručení vůbec nezjistíte. Při velkém odběru proudu se zbytkové napětí 100 Hz v napájecím proudu samozřejmě zvýší, ovšem v silném signálu se těžko najde i citlivým analyzátozem, natož aby ho našlo lidské ucho. To je další důvod, proč jsou zdroje a vůbec pak celé tranzistorové zesilovače tak ekonomické proti elektronkovým.

Z hlavního filtračního kondenzátoru  $C_1$  se odebírá přes přidavný filtr  $R_1/C_2$  také proud pro předzesilovače a pomocné obvody. Odpor  $R_1$  volíme tak velký, aby při zatížení všemi připojenými zesilovači a předzesilovači ve stavu bez signálu bylo na  $C_2$  napětí asi 22 až 24 V<sub>ss</sub>. Jmenovitá hodnota 22,5 V je odvozena z pěti plochých baterií po 4,5 V, které se k napájení skutečně používají, zvláště v mobilním provozu. Větší napětí je zbytečné pro většinu použití a předpokládalo by to zvolit na některé stupně tranzistory s větším závěrným napětím. Menší napětí je nevýhodné, protože nedá nízké zkreslení a velký zisk, který vyžadujeme od každého moderního zesilovače. Podobné filtry mohou být i dva či tři, všechny připojené na  $C_1$  nebo i za sebe v případě, že bychom zdrojem chtěli napájet složitější soustavu dvou výkonových zesilovačů a několika předzesilovačů či pomocných obvodů, kde by se objevily potíže s pomalými kmity a kolísáním napájecího napětí. V takovém případě někdy pomáhají obyčejné germaniové nebo křemíkové diody (jako jsou použity v usměrňovači), zapojené mezi zdroj a napájený zesilovač v propustném směru. Zabránují zpětnému ovlivňování přes zdroj navzájem mezi jednotlivými zesilovači. Katoda diody (tj. v symbolu diody ve schématu příčná čárka) bude na zesilovači, anoda (tj. trojúhelníček) bude na filtru  $C_1$ .

Výstupní stejnosměrné napětí zdroje s jednoduchým filtrem a tedy vstupní kapacitou, jaký máme i my, je vždycky dosti měkké, tzn. že klesá při zvětšeném odběru a naopak. To však nevadí, jestliže napájené zesilovače mají dostatečně silnou zápornou zpětnou vazbu,

aby kolísáním napájecího napětí nedocházelo ke změně zisku a tedy i ke zkreslení, a jestliže počítáme s hodnotou pokleslého ss výstupního napětí až skoro k hodnotě střídavého efektivního napětí na usměrňovači jako s vlastním napájecím napětím a o vzestup napětí naprázdno se nestaráme. To beze všeho jde, jestliže ovšem tranzistory vydrží bez rizika dosti zvýšené napětí, někdy až na 1,4násobek ss napětí při maximálním odběru.

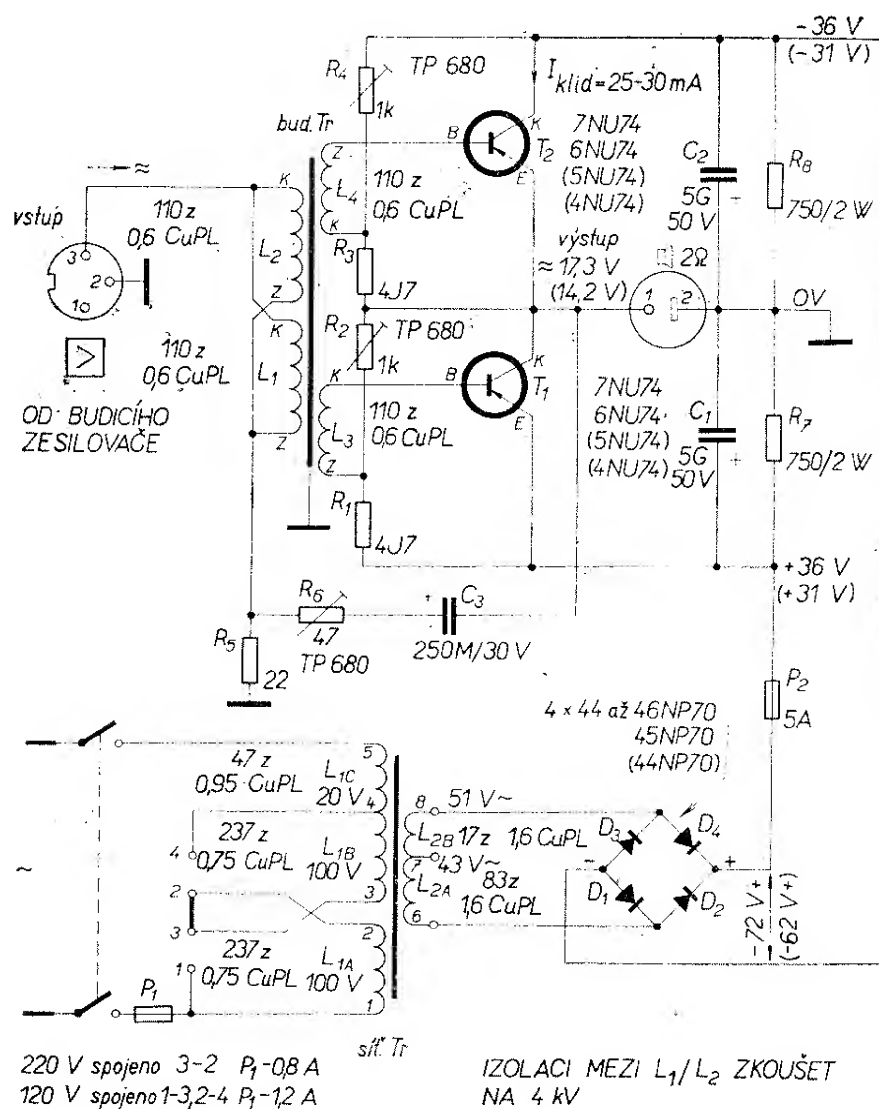
Kolísání napětí beze zbytku odstraňuje elektronický stabilizátor s jedním výkonovým tranzistorem a Zenerovou diodou, který vlastně omezí podstatně nepříjemné stoupání napětí naprázdno a na zesilovači je pak stále napětí. V praxi se však ukazuje, že pro běžné použití v elektroakustice jde o zbytečný přepych bez praktického významu. Elektronické filtry jsou mnohem dražší a sebemenší zkrat je ničící, nejsou-li nějak jištěny zvláštními obvody. Zájemcům je nelze doporučit, pokud nepůjde vyloženě o speciální použití výkonového zesilovače, např. v měřicí technice. Vhodná zapojení se najdou v běžné odborné literatuře naší i zahraniční.

*Vlastní stavba zdroje* je jednoduchá. Diody nepotřebují chlazení, pracujeme-li s výkonem zesilovače či zesilovačů do 20 až 30 W při přirozeném signálu. Můžeme je umístit na krátký izolační pásek přímo na transformátor. Připojovací kabel volme vždy dvoupramenný bez ochranného vodiče, spojeného s kostrou zdroje a tedy i se zesilovačem. Ovšem podmínkou je dokonalá tzv. dvojité izolace primáru  $L_1$  proti kostře transformátoru a sekundáru  $L_2$ , která vydrží zkušební napětí 4 kV, 50 Hz, jak to předepisuje norma. Ochranný vodič, spojující u elektroakustických přístrojů nulový vodič sítě přímo se sdělovacími signálovými obvody, sem zanáší nekontrolovatelné bručení, které nelze odstranit. Je to sice k neuvěření, ale ještě řada továrně vyráběných čs. elektroakustických přístrojů má takové spojení, přestože zákazníci si při vzájemném spojení více přístrojů dohromady nevědí rady s bručením. Přitom jim nelze s čistým svědomím poradit, aby si ochranný vodič přerušili, protože přístroje nejsou vyba-

veny zdvojenou izolací a zůstává tu možnost (i když teoretická) úrazu elektrickým proudem při poruše uvnitř přístroje. Proto doporučujeme u našeho zdroje navinout transformátor a izolovat jej aspoň 8 vrstvami transformátorového papíru 0,03 mm. Také přívody sítě a pájecí body na transformátoru vzdalte od všech ostatních součástí a obvodů.

## Výkonový zesilovač 100 až 150 W

Rozšíření elektrofonických hudebních nástrojů do orchestrů a zvláště pak zajímavé big beatové hnutí vyvolalo velkou poptávku po lehkých a výkonných zesilovačích, které by bylo možno snadno



Obr. 18. Výkonový zesilovač 100 W. Budicí transformátor je navinut na plechy EI 20 × 16 mm, počet plechů síly 0,35 mm je 45, plechy je nutno skládat střídavě (bez vzduchové mezery), plocha středního sloupku je 2,72 cm<sup>2</sup>. Je možno též použít plechy M17 × 19,5 mm, pak počet plechů téže síly je 54, plocha středního sloupku je 2,82 cm<sup>2</sup>. Sítový transformátor je vinut na plechy EI 40 × 50 mm, počet plechů síly 0,5 mm je 100, plocha středního sloupku je 19 cm<sup>2</sup>, počet závitů na 1 V je 2,37, sycení železa  $B = 1$  T. Proud v sekundárním vinutí dosahuje 6,5 A, stejnosměrný proud usměrňovače je při 150 W až 4,2 A. Primár sítového transformátoru je dimenzován na příkon do 330 W, tj. na proud: při 220 V<sub>st</sub> — 1,5 A, při 120 V<sub>st</sub> — 2,5 A



přenášet spolu s hudebními nástroji a rychle kdekoli instalovat. Protože náš průmysl ani dnes ještě nedodává tranzistorové zesilovače postačitelého výkonu, nezbyvá zájemcům než postavit si vhodné zesilovače svépomocí, nebo si prostě koupit těžké a nespolehlivé elektronkové zesilovače. Téměř každý jejich majitel zná okamžik, kdy se najednou zvuk v nejméně vhodném okamžiku ztratí. Byla to však dosud jediná cesta, jak získat požadovaný výkon aspoň 40 W.

Často stavěné zesilovače typu TRANSIWATT o výkonu 10 až 20 W vyhověly pro elektrofonické kytary s moderními poměrně účinnými reproduktory i v dosti velkých místnostech, zvláště zdvojily-li se výkonové zesilovače a reproduktorové soustavy. Ovšem pro elektrofonickou basu je nezbytný větší elektrický výkon, protože účinnost reproduktorů na nízkých kmitočtech značně klesá a naopak rapidně stoupá spotřeba budicího výkonu. Zesilovače o výkonu okolo 20 W jsou pak nuceny pracovat stále v oblasti maximálního výkonu, takže se často dostávají do přemodulovaného stavu a protože při přebuzení prostě odřezávají špičky signálu, nastávalo velmi nepříjemné zkreslení. Basa hrála nečistě a z reproduktorů se ozývalo místo čistých tónů rachocení a chrastění.

Nešťastní muzikanti proto už delší dobu čekají na vhodný a lehký tranzistorový zesilovač s podstatně větším výkonem, který by mohl běžně pracovat s výkonem okolo 30 až 40 W a měl přitom ještě nejméně tolik výkonu v rezervě. Obr. 18 ukazuje základní zapojení takového zesilovače, který je vlastně jen přístavkem k běžnému 10 W tranzistorovému zesilovači TRANSIWATT, nebo k výkonovému zesilovači 10 W podle tohoto návodu. Vyjde totiž velmi jednoduchý a přehledný, takže jej lze snadno a rychle postavit. Uvedení do správného chodu nedělá potíže. A tranzistory? Jsou to výrobky Tesla a koupíte je v odborných prodejnách. Informujte se však předem o cenách; jsou zatím značně vysoké.

*Jak zesilovač pracuje.* Signál o napětí asi 7 V přivádíme ze vstupního konektoru

na primár budicího transformátoru, jehož obě dvě samostatná vinutí jsou spojena paralelně. Převod na sekundár je  $1:1 + 1$ , takže se na obou sekundárních vinutích  $L_3$  a  $L_4$  objeví stejná napětí. Jsou však navzájem v opačné fázi, protože obě budicí vinutí jsou zapojena v opačném smyslu. Písmeno  $z$  značí začátek,  $k$  konec vinutí. Smysl se nesmí přehodit, zesilovač by nefungoval. Dolní vývody budicích vinutí jsou připojeny na dělič napětí, z něhož se odebírá vhodné předpětí pro báze koncových tranzistorů. Předpětí lze nastavit proměnnými, nejlépe drátovými odpory  $R_2$  a  $R_4$  tak, aby oběma tranzistory protékal klidový proud asi 25 až 30 mA a vyloučilo se tak obávané přechodové zkreslení, o němž byla řeč už dříve. V klidu je na obou tranzistorech přibližně stejné napětí rovné polovině napětí napájecího. Shodu nastavíme právě oběma odpory  $R_2$  a  $R_4$ . Podobně se dělí také napětí na obou velkých kapacitách  $C_1$  a  $C_2$ , kde tomu napomáhá i odporový dělič  $R_7/R_8$ . Signál z primáru se transformuje na sekundár, a na obou tranzistorech se tedy objeví v opačné fázi. Přejde-li např. na  $T_1$  záporná půlvlna, tranzistor se otevírá, počíná jím protékat proud a napětí na něm klesá. Na  $T_2$  v té chvíli jen roste napětí a proud jím neprotéká. V příští půlperiodě signálu je to právě opačně. Stejnosměrné napětí uprostřed obou tranzistorů se tedy mění nahoru a dolů směrem k zápornému a kladnému pólu zdroje, a to v rytmu přiváděného signálu. Připojíme-li mezi tento bod a mezi střed filtračních kapacit reproduktor, bude jím protékat střídavý signálový proud tím větší, čím větší bude kolísání výstupního napětí mezi tranzistory. Všimněte si, že ve stavu bez signálu se napětí mezi tranzistory neliší od napětí mezi kondenzátory, takže mezi oběma body není rozdíl napětí a reproduktorem tedy neprotéká ss proud.

Aby se zlepšily přenosové vlastnosti zesilovače a zaručil se jeho bezpečný provoz, je tu zavedena poměrně silná záporná zpětná vazba z výstupu na vstup děličem napětí  $R_6/R_5$ , jehož horní člen  $R_6$  je proměnný drátový potenciometr TP 680 11 47  $\Omega$ . Do primáru

budicího transformátoru se dostává velký výstupní signál v protifázi, takže celkové budicí napětí se přitom značně zvýší, ovšem s řadou příznivých následků, o nichž byla už řeč. Potenciometrem  $R_6$  se nastaví vhodná budicí citlivost koncového stupně, aby se dosáhlo při budicím napětí 7 V maximálního požadovaného výkonu na výstupu. Aby byla vazba skutečně záporná, je nutno vyzkoušet správný smysl vinutí  $L_1/L_2$ . Správně je to tehdy, klesne-li značně vstupní citlivost. V opačném případě se zesilovač rozkmitává.  $C_3$  slouží jako izolační kapacita zpětnovazební smyčky. Zesilovač může i trvale pracovat odlehčen bez zátěže na výstupu.

### Jak zjistíme maximálně dosažitelné výkony

TESLA Rožnov vyrábí řadu výkonových tranzistorů 4 a 5NU74, a 6 a 7NU74, které mají kolektorovou ztrátu 50 W, maximální proud  $I_K = 15$  A a vysoké závěrné napětí. Chceme-li dostat z tranzistorů co největší výkon s malým zkreslením, musíme je využít hlavně napěťově. Do výkonu 60 až 90 W postačí první dva typy s  $U_{KBM} = 60$  V, zatímco druhé dva typy odevzdají kvalitní signál až 150 W bez potíží. Předpokládá to dobře dimenzovaný zdroj, o němž je zmínka dále. Vyšetříme si nejdříve možnosti lepších a samozřejmě také dražších tranzistorů 50 W. Dosažitelný výkon

$$P_{\max} = \frac{I_{KM} \cdot U_{\text{zdroje}}}{4} = \frac{15 \text{ A} \cdot 70 \text{ V}}{4} = 263 \text{ W (!)}.$$

Jak ukazuje uvedený vztah, takový výkon by mohly skutečně odevzdat dva tranzistory, u kterých  $I_{KM}$  je maximálně dovolený kolektorový proud podle údajů výrobce 15 A a napětí zdroje 70 V leží ještě pod bezpečnou hranicí 90 V. Ovšem necháme si i zde značnou rezervu bezpečnosti a *spokojíme se s výkonem 150 W*. Protože budeme pracovat pravděpodobně s reproduktorovou soustavou ze

dvou reproduktorů spojených paralelně a celkovým odporem si  $2 \Omega$ , potřebujeme výstupní napětí signálu

$$U_{\text{výst}} = \sqrt{P_{\max} \cdot R_z} = \sqrt{150 \text{ W} \cdot 2 \Omega} = 17,3 \text{ V}_{\text{ef}}$$

Nezbytné napětí zdroje pro tento výkon

$$U_{\text{zdroje}} = U_{\text{výst ef}} \cdot \sqrt{2} + 2 U_{\text{KEO}} = 17,3 \text{ V} \cdot 2,82 + 2 \cdot 1 \text{ V} = 51 \text{ V}$$

Ke zjištěné hodnotě přidáme asi 20 % ke krytí ztrát a zvolíme napětí zdroje při zatížení asi 62 V. Nižší hodnotu napětí 51 V zvolíme pro napájení tranzistorů 4 až 5NU74, z vyššího napětí můžeme napájet typy 6 a 7NU74.

### Napájecí zdroj pro zesilovač 150 W

Primár je podle obr. 18 opět dělený a lze ho zapojit na 220 i 120 V. Sekundár  $L_2$  je na 51 V s odbočkou na 43 V. Usměrnovač je složen opět ze čtyř výkonových germaniových diod 45NP70, ale výborně tu vyhoví i křemíkové diody 44 až 46 NP75, zvláště opatříme-li je malými chladicími křídly z hliníkového plechu o ploše asi po 25 cm<sup>2</sup>. Maximální napětí naprázdno na filtrační kapacitě je asi 72 V, při použití odbočky asi 62 V.

### Dosažené výsledky

Budicí napětí 7 V, výstupní napětí 17,3 V nastaveno odporem  $R_6$ , zatěžovací odpor  $2 \Omega$ , výstupní výkon je 150 W. Zkreslení při 140 W činí 1,5 %, kmitočtová charakteristika při 20 W má v rozmezí 50 Hz až 16 000 Hz nerovnoměrnost -2 dB. Vstupní impedance při 1 kHz je asi 230  $\Omega$ . Při použití jiných tranzistorů jsou odchylky nepodstatné.

### Stavba a uvedení do chodu

Součásti sestavíme v jakémkoliv uspořádání, nejlépe do ploché kovové skříně,

která musí být velmi pevná, protože síťový transformátor je značně těžký. Tranzistory upevníme opět podle obr. 16 přes izolační destičky ze slídy a pomocí izolačních průchodek na velkou chladičí desku aspoň 250 cm<sup>2</sup> nebo na plechovou skříň zesilovače, ovšem musíme zvenčí tranzistory izolovat proti zkratu na vlastní pouzdro. Spoje provedeme velmi pečlivě. Regulační odpory musí být snadno přístupné, stejně tak vstupní a výstupní konektor. Výstup má nový reproduktorový konektor s plochým kolíkem. Sestavený přístroj pečlivě zkontrolujeme, a raději před montáží také přeměříme všechny součásti.

Pak vyzkoušíme samotný zdroj, zvláště je-li mezi elektrolyty  $C_1$  a  $C_2$  polovina celkového ss napětí zdroje. Potenciometry  $R_2$  a  $R_4$  nastavíme na maximální odpor a  $R_1$  a  $R_3$  zkratujeme. Pak teprve připojíme zesilovač ke zdroji přes miliampérmetr a změříme spotřebu. Bude asi 3 mA, což se může značně lišit při jiných tranzistorech. Změříme napětí mezi tranzistory, kde má být také polovina celkového napětí. Rozdíly vyrovnáme potenciometry  $R_4$  a  $R_2$ , kterými současně nastavíme klidový odběr zesilovače na 25 až 30 mA. Zkrat na odporech  $R_1$  a  $R_3$  musíme přitom samozřejmě odstranit. Tím je zesilovač připraven k vyzkoušení maximálního výkonu. Pomocí měřicích přístrojů je to snadné, ale opět pozor, abychom nebudili na plný výkon při vyšších kmitočtech. Vždy jen tak, aby spotřeba nestoupala přes hodnotu spotřeby při plném výkonu na 1 kHz. Proud ze zdroje může dosáhnout až 4,5 A.

Při napájení usměrňovače z odbočky 43 V je možno na 1 kHz dosáhnout výkonu asi 100 W při výstupním napětí asi 15,3 V do zátěže 2  $\Omega$ . Při takto velkých výkonech oba tranzistory a diody už slušně hřejí, takže chlazení je nezbytné. Podstatně příznivější je provoz s přirozeným signálem, při kterém jsou tyto součásti jen vlažné i při provozu naplno. Je tu celkem lhostejné, jak velký činitel  $B$  mají použité tranzistory. Doporučuji používat párované dvojice, které se dodávají bez příplatku. Při zkouškách s reproduktory je třeba bedlivě střežit výkon na výstupu, aby kmitačka neod-

cestovala ven z magnetického obvodu při špičkách signálu, kdy okamžitý výkon může dosáhnout až dvojnásobku dosažitelného sinusového výkonu, tj. zde až 300 W. Velmi příjemné je, že tak velké výkony se tu dosahují s běžnými součástkami prakticky bez nebezpečí, ze zdroje o malém napětí, kdežto u výkonných zesilovačů s elektronkami by se napájecí napětí blížilo 1000 V a bylo by vážné nebezpečí ohrožení života při náhodném dotyku.

Postavit ucelený zesilovač o tak velkém výkonu s citlivým vstupem, např. na způsob uvedeného 10 W zesilovače, není nijak těžké, ale vyžaduje podstatně víc péče při stavbě i nastavení a složitější napájecí obvody. Domníváme se, že pro většinu zájemců bude lákavá právě mimořádná jednoduchost tohoto přístroje, který je možno budít třeba z nízkoohmového výstupu obyčejného přijímače. Pro takové případy je vhodné zmenšit na polovinu počet závitů vinutí  $L_1$  a  $L_2$  budicího transformátoru a navinout je z drátu o dvojnásobném průřezu. Vineme vždy nejprve vinutí  $L_1$ , pak obě vinutí sekundáru  $L_3$  a  $L_4$  současně dvěma dráty a nakonec  $L_2$ . Je totiž nezbytná co nejtěsnější vazba mezi  $L_3$  a  $L_4$ .

Ale i při nižším napájecím napětí s levnějšími tranzistory se dá dosáhnout výkonu téměř 150 W, jestliže zmenšíme zatěžovací odpor na 1,3  $\Omega$  tak, že zapojíme paralelně 3 reproduktory po 4  $\Omega$ , např. ARO 814. O vhodných soustavách je psáno dále. Při provozu pozor na to, abychom neudělali zkrat na výstupní lince. Tranzistory se snaží přemoci zkrat velkým proudem a prudce se zahřejí. Není-li v napájení pojistka asi 5 A, mohou se i zničit. To je v ážné nebezpečí u každého tranzistorového zesilovače, který nemá zvláštní elektronické jištění proti zkratu nebo méně choulostivé křemíkové tranzistory. Proto věnujme zvláštní péči reproduktorovým kabelům a připojovacím konektorům.

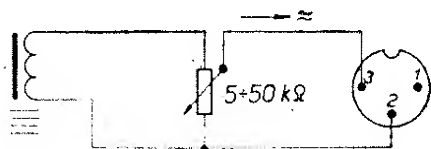
V provozu je vhodné mít zesilovač v jednom celku s budicím zesilovačem ale lze ho výhodně vestavět např. do reproduktorové skříňe pro elektrofonickou basu, protože nemá ovládací orgány a v provozu se nemusí obsluhovat.

## Jak se spolu kombinují jednotlivé popsané jednotky

Je to prosté, obvykle začínáme předzesilovačem, vybraným podle popisu a účelu, který má plnit. Na jeho výstup zařadíme buď korektor nebo prostě regulátor hlasitosti, nemáme-li o korektor zájem. Dále zařadíme výkonový zesilovač. Regulátor hlasitosti připojíme vždy až k němu. Směšovač nebo adaptor s vysokou vstupní impedancí zařazujeme obvykle před předzesilovač, je-li lineární. Do univerzálního předzesilovače tyto doplňky připojujeme přes vstup *M*, *RA* nebo *LI*, nejvhodnější způsob vyzkoušíme. Napájíme-li doplňky z baterií, je to jednodušší. Při napájení ze společného zdroje nesmíme zapomenout na oddělovací filtry, sestavené z velké kapacity a odporů  $R_s$ , jejichž velikost volíme tak, aby na elektrolytu bylo právě doporučené napětí pro jednotlivé přístroje. Kdyby se objevily obtíže s pomalými kmity při složitějších soustavách, zkusíme filtry zdvojit nebo kapacity značně zvětšit až na 1000  $\mu\text{F}$ .

### Jak se připojuje kytarový snímač

Elektromagnetický snímač kytary nebo basy dává výstupní napětí úměrné intenzitě kmitání struny (amplitudě), což je různé podle způsobu hry a hráče samotného. Kromě toho se intenzita úderů do strun značně mění během hry a jsou tu značné dynamické rozdíly. Snad ani jediný zdroj signálu z dříve popsaných nemá tak rozdílný výstupní signál podle okolností, ovšem kromě mikrofону, který však pracuje na podstatně nižší úrovni signálu. Protože snímač dává poměrně značné výstupní napětí, mohlo by se stát, že by takový signál zvláště ve špičkách



Obr. 19. Připojení kytarového snímače

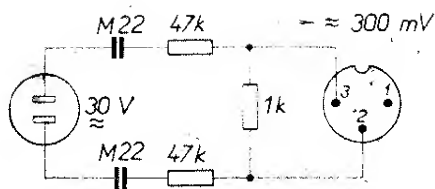
přemoduloval zařazené předzesilovače a na výstupu bychom slyšeli silně zkreslený zvuk. Takový případ snadno nastane, je-li regulátor hlasitosti zařazen až za předzesilovačem, jak to zcela vyhovuje pro jiné druhy signálu se stálým výstupním napětím. Nesmíme proto zapomenout vždy zařadit hned za kytarový nebo basový snímač regulační potenciometr s celkovým odporem asi 5 až 100 k $\Omega$ , jehož běžcem odebíráme větší či menší část celkového výstupního napětí, kterou ještě bez zkreslení zpracuje následující předzesilovač (obr. 19). Takové regulátory hlasitosti bývají na elektrofonických kytarách vestavěny už z továrny, případně společně s jednoduchými tónovými filtry. Při vlastní stavbě na to nezapomínejme, je to mimořádně důležité.

### Připojení drátového rozhlasu

Odebírání modulace z drátového rozhlasu mimo přidělené reproduktory není sice v souladu s platnými směrnici, ale dělá se to všeobecně, často však zcela neodborně. Je tedy snad lepší dát aspoň malou radu jak na to, aby se zamezily zkratky na linkách, když už se takové manipulaci žádnými prostředky nezabrání. Maximální napětí signálu drátového rozsahu je 30 V, pro zesilovač na vstupu *LI* stačí asi 300 mV. Proto uděláme jednoduchý dělič podle obr. 20 z obyčejných odporů o celkovém útlumu asi 100 (tj. — 40 dB). Dělič je vlastně oboustranný, takže se nemusíme starat o uzemňovanou stranu. Stejnou funkci zastane také převodní transformátor se sestupným převodem 20 : 1 až 100 : 1.

### Připojení signálu z televizoru

Nemáme-li snad některý z nejmodernějších televizorů, které už mají diodový výstup podobně jako rozhlasové přijímače, nezapomínejme, že jde vesměs o přístroje s obvody galvanicky propojenými do sítě. Tedy i jejich nulový vodič může mít plné napětí sítě 220 V proti zemi. Kdybychom propojili obvod takového televizoru přímo se zesilovačem a přes něj tedy se zemí, došlo by v jedné



Obr. 20. Připojení rozhlasu po drátě

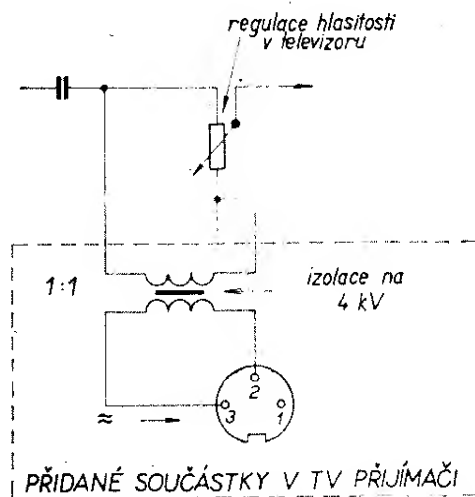
poloze síťové zástrčky ke zkratu a před tím možná i k těžkému úrazu elektrickým proudem. Jediná cesta je tedy oddělit modulační linku z diodového výstupu televizoru galvanicky od jeho obvodů (obr. 21). A to dovede bezpečně jediné malý transformátor, zkoušený na 4 kV mezi primárem a sekundárem, o převodu 1:1, jehož primár připojíme např. paralelně k regulátoru hlasitosti v televizoru a sekundár vyvedeme ven do dobře izolovaného konektoru mezi body 2—3. Takové uspořádání mívaly kdysi čs. univerzální přijímače střední velikosti, a to pro připojení přenosky. Jiné způsoby připojení zesilovače k televizoru nedoporučujeme pro amatérskou stavbu, jsou vesměs nebezpečné.

## Reproduktorové soustavy pro orchestry

Na začátku je třeba připomenout, že na ně klademe poněkud jiné požadavky, než na soustavy určené pro reprodukování hudby z desek nebo pásků či z rozhlasu na VKV. Elektrofonické hudební nástroje nemají zdaleka tak veliký rozsah kmitočtů, který je nutný pro věrný přenos např. symfonické hudby s mnoha nástroji nejrozličnějších barev. Zde nám stačí ke zcela věrnému přenosu podstatně užší pásmo kmitočtů u soustavy, která tak může být jednodušší, levnější a co je hlavní, také lehčí. V orchestrech se soustavy většinou přenášejí a tady přijde každý kilogram k dobru. Obvykle řešíme soustavy pro orchestry spíše z hlediska maximální zatížitelnosti a zkreslení, protože více než jiné jsou vystaveny soustavnému přetěžování značným příkonem, nehledě už na špatné

zacházení při transportu. Není zde místo na podrobný rozbor reproduktorových soustav, ale uveďme aspoň hlavní hlediska pro jejich návrh.

Každá reproduktorová soustava je vestavěna ve vhodné ozvučnici. Bývá to nejčastěji co nejpevnější uzavřená dřevěná skříň, která pokud možno nemá vlastní kmity a nechvěje se při práci reproduktorů. Je to právě opačný požadavek, než jaký máme na ozvučnice hudebních nástrojů, které rezonancí vytvářejí výsledný zvuk. Zde by nám sice souznění tolik nevadilo, kdyby ovšem nebylo následkem nepevné a málo tuhé skříně, která kromě souznění může také drnčet – a většinou také drnčí. Proto volme hledisko stejné jako u ozvučnice pro stereofonii a udělejme ji co nejpevnější. Velikost a tedy i kubický objem uvnitř uzavřeného vzduchu má přímý vliv na dolní mezní kmitočet, tj. ten, na němž soustava vydává ještě čisté tóny bez pozorovatelného zkreslení a přílišného úbytku hlasitosti vzhledem ke středním kmitočtům. Jsou na to přesnější definice, ale pro pochopení toto stačí. Čím větší je skříň, tím nižší jsou vyzářené kmitočty – a naopak. Velikost skříně je také závislá na průměru reproduktoru, do větší skříně musíme dát i větší reproduktory – a naopak. Velmi důležitý je pro nás tzv. maximální příkon reproduktoru, který můžeme přivádět ze zesilovače do jeho kmitačky. TESLA udává tento maximální příkon při trvalém buzení sinusovým



Obr. 21. Diodová přípojka pro televizor

signálem na 1 kHz. Při buzení přirozeným signálem je max. dovolený příkon několikanásobně vyšší, zvláště pak ve špičkách signálu v krátkých okamžicích může dosáhnout beze škody až desetinásobku, jak udávají někteří zahraniční výrobci o svých reproduktorech. Praxe ukázala, že to platí také o čs. reproduktorech TESLA, i když výrobce nic podobného neuvádí. Z toho vyplývá, že naše reproduktory můžeme chvilkově přetížít proti katalogovému údaji, aniž by tu bylo jakékoliv nebezpečí, ovšem jen při přirozeném signálu, tj. hudbě nebo řeči. To platí hlavně pro střední kmitočty zvukového pásma.

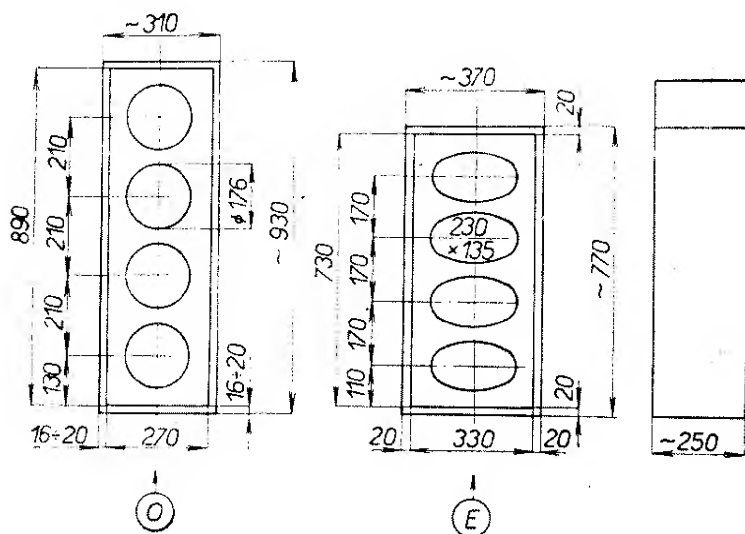
Méně příznivé podmínky mají však reproduktory, používané pro elektrofonické basy. Pracují s kmitočty i značně pod 100 Hz, kdy výchylka membrány a namáhání systému dosahuje kritických hodnot. Zde musíme dimenzovat reproduktorové soustavy s větší rezervou bezpečnosti. Aby nám ozvučnice vyzářila dostatečný akustický výkon i na těchto kmitočtech, musí být dostatečně veliká. Přesnější vztahy najdou zájemci v každé odborné knížce o reproduktorech. A jakou skříň volit, zavřenou či otevřenou?

*Zavřené skříň* bývají výhodnější jak z hlediska kvality přenosu, tak z hlediska pevnosti a odolnosti. Ovšem vyskytují se velmi často i *skříň vzadu otevřená*, které slouží také na uložení přívodních kabelů, zesilovače a mikrofónů. Jsou to často i výrobky známých továren. Z čistě technického hlediska by proti tomu nemu-

sely být námitky, protože jak už jsme si řekli, nemusíme mít příliš přísné požadavky na reproduktory k elektrofonickým hudebním nástrojům. Ale pevná uzavřená skříň při vhodné konstrukci nemusí být těžší než otevřená, reproduktory uvnitř jsou chráněny proti prachu a poškození a zesilovač lze vestavět dovnitř také, je-li, ovšem tranzistorový a v provozu nehřeje. Knoflíky a ovládací orgány mohou být např. na zadní straně nebo nahoře, jak to bývá také u továrních výrobků. Pro kabely a mikrofony může být zvláštní zapuštěná schránka ve stěně, nebo se přenáší zvlášť.

Přenášené kmitočtové pásmo nemusíme rozšiřovat nahoru až na hranice slyšitelnosti, ale stačí nám rozsah, vyplývající z běžně používaných reproduktorů pro střední pásmo. Elektrofonické hudební nástroje mají základní i harmonické tóny v pásmu, nepřesahujícím 10 000 Hz. A to je kmitočet, který nám ještě s dostatečnou úrovní vyzáří běžné reproduktory pro střední pásmo. Speciální výškové reproduktory ušetříme a s nimi i poměrně složité výhybky. Použijeme-li moderní čs. reproduktory TESLA, které mají samy o sobě zlepšené vyzařování vysokých tónů proti starším typům, poznali bychom rozdíl proti kompletně vybaveným soustavám většinou jen při přísném bezprostředním porovnávání.

Vzhledová úprava reproduktorových soustav pro orchestry je dost důležitá, protože se obvykle nedají zamaskovat



Obr. 22. Reproduktorové soustavy pro elektrickou kytaru a zpěv. Osazení: pro typ O – kruhové 4×ARO 669 nebo ARO 689, pro typ E – eliptické 4×ARE 669 nebo ARE 689. Obsah obou typů skříní je asi 50 litrů.



a jsou vystaveny očím diváků a posluchačů. Povrch skříně bývá vhodné ponechat matný a upravit ho na nenápadný odstín. Přední stranu s otvory pro reproduktory potáhneme obvykle textilní nebo lýkovou tkaninou, která musí mít dostatečné otvory ve struktuře. Při pohledu proti světlu by měly být jednotlivé otvůrky naprosto zřetelně průchozí a jejich celková plocha má být aspoň 1/5 plochy celé tkaniny, lépe však více. Tkanina musí mít nevtravný vzor nenápadných odstínů a být dobře vypnuta v určité vzdálenosti od reproduktorové desky – stačí asi 5 až 10 mm. K napnutí a upevnění tkaniny dobře poslouží dřevěný rámeček, který se potáhne a zapustí do osazení skříně na přední straně.

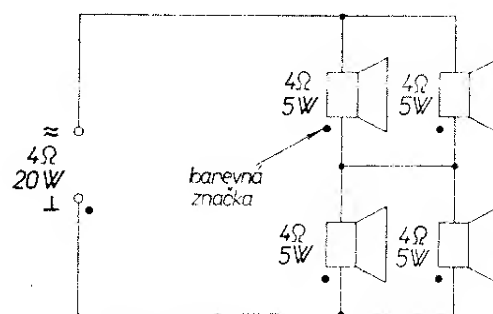
Prívody ke skříním od zesilovače vyrobíme nejlépe z vodiče YH  $2 \times 0,5$  až  $2 \times 1,5$ , což je naše známá dvoulinka PVC s pletenými žilami. Na obou stranách je opatříme pečlivě připájenými sdělovacími vidlicemi, nejlépe speciálního reproduktorového provedení s plochým kolíkem. Bezpodmínečně vylučme všechny vidlice a zásuvky, které třeba jen vzhledem připomínají síťové vidlice. Dochází snadno k jejich zasunutí do sítě, a takové omyly se pak draho platí.

Jaké soustavy budou nejvhodnější pro hudebníky? Vycházejme z nutného tematického omezení, že naše pojednání je více méně jednoúčelové a týká se hlavně elektrofonických kytar, bas a mikrofonového zpěvu, což jsou nejčastější případy. Z toho nám vyjde už dolní mezní kmitočet pro kytaru (a tím samozřejmě, i pro mikrofon) bude to nejhlubší znějící tón E, asi 82 Hz. Připustíme-li na tomto kmitočtu zanedbatelný úbytek a zkreslení, vyjde nám skříň o obsahu asi 50 litrů. Basa pak zní o oktávu níže, takže potřebujeme vyzářit ještě kmitočty okolo 41 Hz. Uvažujeme-li opět dosažitelné reproduktory a připustíme stejnou míru kvality jako v předešlém případě, vyjde nám skříň na 130 litrů. Pro nejpřísnější požadavky ji můžeme zvětšit asi na 200 l při stejném reproduktorovém osazení. Úbytky na dolním konci pásma můžeme klidně připustit už proto, že běžné taneční a koncertní sály mají na hlubokých tónech značný dozvuk a tím se

úbytek na basech subjektivně kompenzuje. Teď k jednotlivým zvoleným typům soustav, které jsou uvedeny jako příklad z řady možností, jak podobné soustavy řešit. Výchozím hlediskem tu mimo jiné byla i cena, snadná mechanická konstrukce a odolnost v provozu.

### Menší reproduktorová soustava pro elektrofonickou kytaru a zpěv

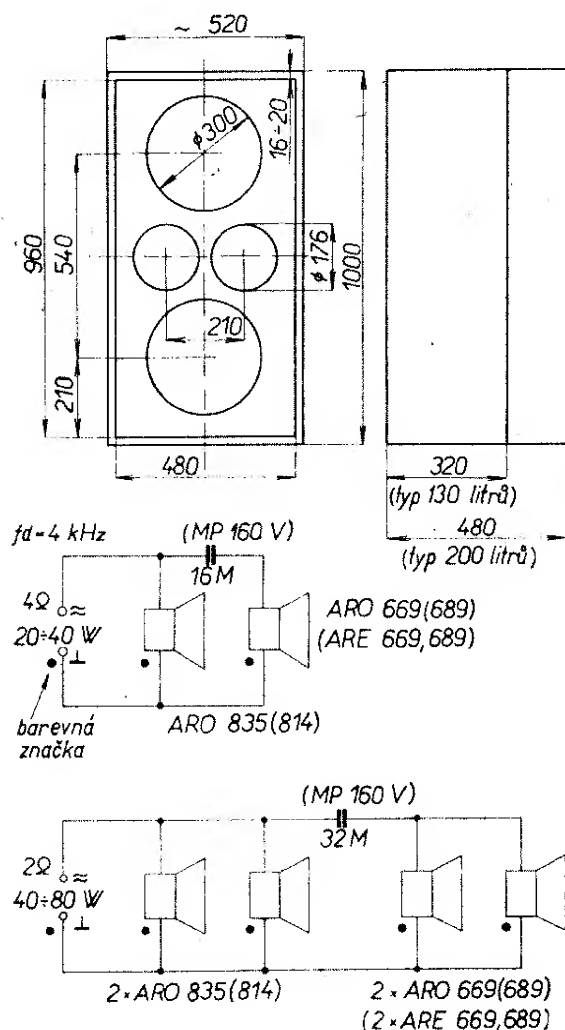
Na obr. 22 vidíte dvojí možné provedení. Vyšší a užší je určeno pro kruhové reproduktory, nižší a širší pro eliptické. Bližší údaje jsou uvedeny v textu pod obrázkem. Obě skříně pracují na principu reproduktorového sloupu, který má dvě značné přednosti právě pro naše použití. Jeho směrová charakteristika je při uvedené orientaci na výšku značně široká a naopak zploštělá shora dolů, takže dosahuje většího akustického tlaku na vzdálenějších místech, než soustavy nesměrové. Kromě toho více reproduktorů znamená i větší maximální příkon, což také vítáme. Reproduktory v počtu čtyř můžeme zapojit i serioparalelně se stejnou výslednou impedancí  $4 \Omega$ , jak je to pro nás právě výhodné. Uvedené reproduktory váží dohromady jen asi 2 kg, takže výsledná váha bude poměrně nízká, uděláme-li i skříň co nejlehčí při dostatečné tuhosti. Reproduktory propojíme uvnitř podle obr. 23, přičemž respektujeme barevné značky u jednoho z vývodů, mají-li nám reproduktory pracovat ve stejné fázi. Výstupní konektor umístíme nejlépe na zadní odnímací stěnu.



Obr. 23. Propojení reproduktorů v soustavě. Kmitočtový rozsah je asi od 80 do 12 000 Hz, zatížitelnost přibližně 20 až 40 W

## Větší reproduktorová soustava pro el. kytaru, zpěv a také pro basu

Je podstatně větší a samozřejmě také těžší, takže ji musí nosit dva lidé (obr. 24). Osazena je dvěma speciálními hlubokotónovými reproduktory a dvěma běžnými reproduktory pro střední pásmo, které jsou připojeny přes výhybku, aby pracovaly teprve v oblasti nad 2 kHz, kde už velké reproduktory přestávají vytvářet akustický tlak. Dvojitě osazení má výslednou impedanci  $2\ \Omega$  a je určeno zvláště pro výkonový zesilovač 100 až 150 W podle předchozího popisu. Pro



Obr. 24. Reproduktorová soustava pro elektrofonickou kytaru, basu a zpěv. Kmitočtový rozsah je u typu 130 litrů asi  $50 \div 12\ 000\ \text{Hz}$ , u typu 200 litrů asi  $35 \div 12\ 000\ \text{Hz}$

zesilovače 10 W zvolíme soustavu jen se dvěma reproduktory a do přední desky pak uděláme jen dva otvory. Reproductory propojíme podle schématu a na oba malé pevně přitáhneme pevné kryty, které by je úplně uzavřely od prostoru uvnitř skříně. Zabrání se tak, aby akustický tlak vyvozený membránou velkých reproduktorů pumpoval membránou obou středních. K uzavření se výborně hodí běžně prodávané hlubší misky z plastické hmoty o průměru asi 22 cm, nebo prostě hliníkové hrnce. Přitáhneme je přes reproduktory k desce jednoduchou plechovou objímkou.

Pracujeme-li se 100 W zesilovačem stále v oblasti největšího výkonu, např. ve velkých sálech, je možné ještě třetí uspořádání. Skříň zvětšíme tak, aby se do ní vešly uvedené reproduktory po třech, a to co nejbližše k sobě. Na jejich vzájemném rozmístění nezáleží, ale mají být pokud možno různě vzdálené od okrajů skříně. Tři a tři pak spojíme paralelně, středotónové oddělíme kondenzátorem  $48\ \mu\text{F}$ . Elektrolyty se sem nehodí (musely by být přesné a bipolární) mají to být bloky MP, na jejichž provozním napětí nezáleží. Čím je nižší, je kondenzátor levnější a menší. Výsledná impedance soustavy je asi  $1,3\ \Omega$  a můžeme ji použít, napájíme-li zesilovač nižším napětím. Můžeme případně vytvořit na transformátoru odbočku asi na 38 V a usměrňovač připojit sem. Zesilovač s nižší zatěžovací impedancí dá při nižším napájecím napětí prakticky stejný výkon a lze použít levnější tranzistory s nižším závěrným napětím. Soustavy s impedancí nižší než  $4\ \Omega$  však v žádném případě nesmíme připojit k výkonovému zesilovači 10 až 20 W, kde by byl přetížen invertor.

### Jak se výhodně vyrábějí reproduktorové soustavy

Ukazuje to názorně obr. 25. Ze základních dílů, naznačených v pohledu, sestavíme celou skříň i bez zvláštního truhlářského zařízení, jsme-li schopni čistě a přesně pracovat s ruční pilou, hoblíkem, úhelníkem a vrtačkou. Jako materiál se hodí laťovka 16 až 20 mm, ale pro menší skříně lze použít i tenčí překližky, jestliže

ji na stěnách vyztužíme přiklíženými špalíky. Vhodné jsou i tvrdé dřevotřískové desky, ovšem jsou značně těžké. Vnitřní konstrukční latě pevně přiklížíme a přibíjeme tak, aby zadní deska právě lícovala s okrajem stěnového rámu, zatímco přední má být asi o 20 mm zapuštěna. Pevnými a dlouhými vruty nešetříme a přitáhneme obě desky pevně k latím. Díry pro reproduktory vyřízneme zlodějkou, začistíme struhákem a přední stěnu nalakujeme matně černě. Celou skříň lze polepit vhodným potahovým materiálem, který tolik netrpí jako holé dřevo. Skříň opatříme vhodnými držadly pro snadné přenášení. Na rámeček napneme vhodnou textilií a zapustíme do prohlubně před přední deskou.

Všechny uvedené reproduktorové soustavy byly v praxi vyzkoušeny, dobře se osvědčily a lze je doporučit všem, kteří chtějí hrát rychle, poměrně levně a dobře.

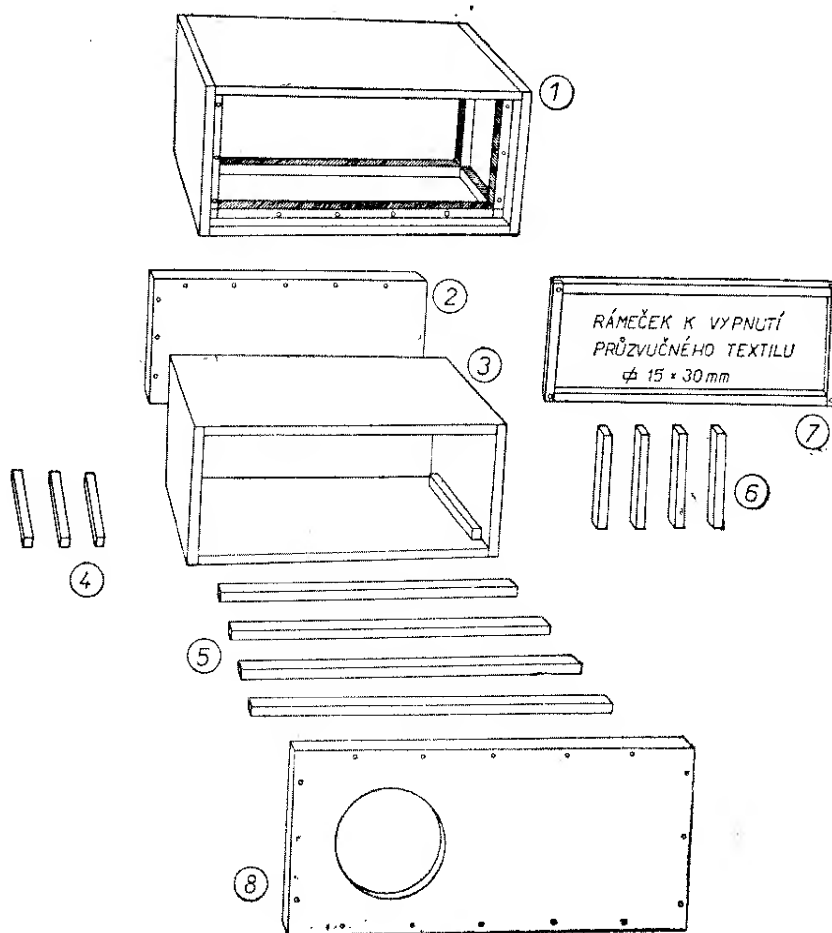
Bližší podrobnosti o konstrukci reproduktorových soustav najdete ve staveb-

ním návodu vydavatelství obchodu, Reproduktové soustavy pro věrný přednes hudby [9].

### Na závěr

Všechny přístroje uvedené v popisu se mohou osadit i tranzistory s obrácenou polaritou, tj. pnp za npn a opačně, jestliže změníme polaritu napájecího zdroje a elektrolytických kondenzátorů. Budou-li zájemci potřebovat radu při práci nebo při nákupu některých součástí, doporučujeme jim navštívit pravidelné schůzky Klubu elektroakustiky 38. ZO Svazarmu v Praze 1. Jsou vždy ve středu od 16,30 hod. v poslechové síni č. 135 (1. poschodí) na filosofické fakultě UK v Praze 1, Nám. Krasnoarmějců 1 (proti mostu na Klárov). Vedle zajímavého technického i hudebního programu tu najdou i řadu přátel stejného zájmu.

**Obr. 25.** Výhodný způsob stavby reproduktorových soustav. 1 - celková sestava, 2 - zadní stěna z laťovky  $16 \div 20$  mm, 3 - stěnový rám z těžké laťovky, 4, 5, 6 - vnitřní konstrukční latě průřezu  $25 \times 25$  mm až  $35 \times 35$  mm, 7 - rámeček, 8 - přední deska z laťovky  $16 \div 20$  mm s otvory pro vruty



Zájemci o dozvukové zařízení nechtě si najdou aspoň prozatím stavební návod v sovětském RADIU [16]. Závěrem je třeba poděkovat ing. Jiřímu Chýlemu a Karlu Šelingerovi z Klubu elektroakustiky, kteří autorovi pomohli rychle v provozu ověřit nový předzesilovač a výkonový zesilovač 150 W, a přispěli tak ke včasnému odevzdání rukopisu do tisku.

#### Literatura:

- [1] Reprodukory Orthophase, Funktechnik 8/62, 251
- [2] Lennartz: Modulátor 50 W, Funktechnik 24/61, 871
- [3] Firemní literatura Grundig (NSR)
- [4] Firemní literatura Henry (Anglie)
- [5] Ippolito: Vibrato simulator, Electronics World 11/62, 44
- [6] Hradecký - Doležal: Vibrato pro kytaru, Amatérské radio 1/65, 12

[7] Hanuš: Konstrukce elektromagnetických snímačů pro kytaru, Amatérské radio 6/64, 165

[8] Svoboda: Reproduktorová kombinace pro věrný přednes, Amatérské radio 1/63, 11

[9] Svoboda: Reproduktorové soustavy pro věrný přednes hudby, Knihnice VO - vyjde v dubnu 1965

[10] Merhaut a kolektiv: Příručka elektroakustiky, SNTL 1965

[11] Janda: Transiwatt Stereo, Knihnice VO, č. 24, 25 a 26

[12] Schmalz: Elektrické hudební nástroje, Radiový konstruktér 3/1957

Literatura pro zájemce o elektrické dozvukové zařízení:

- [13] Funktechnik 17/62, 593
- [14] Audio (USA) 4/61, 28
- [15] Svoboda - Vítámvás: Elektronické hudební nástroje, str. 50, SNTL 1958
- [16] Radio (SSSR) 12/63, 46

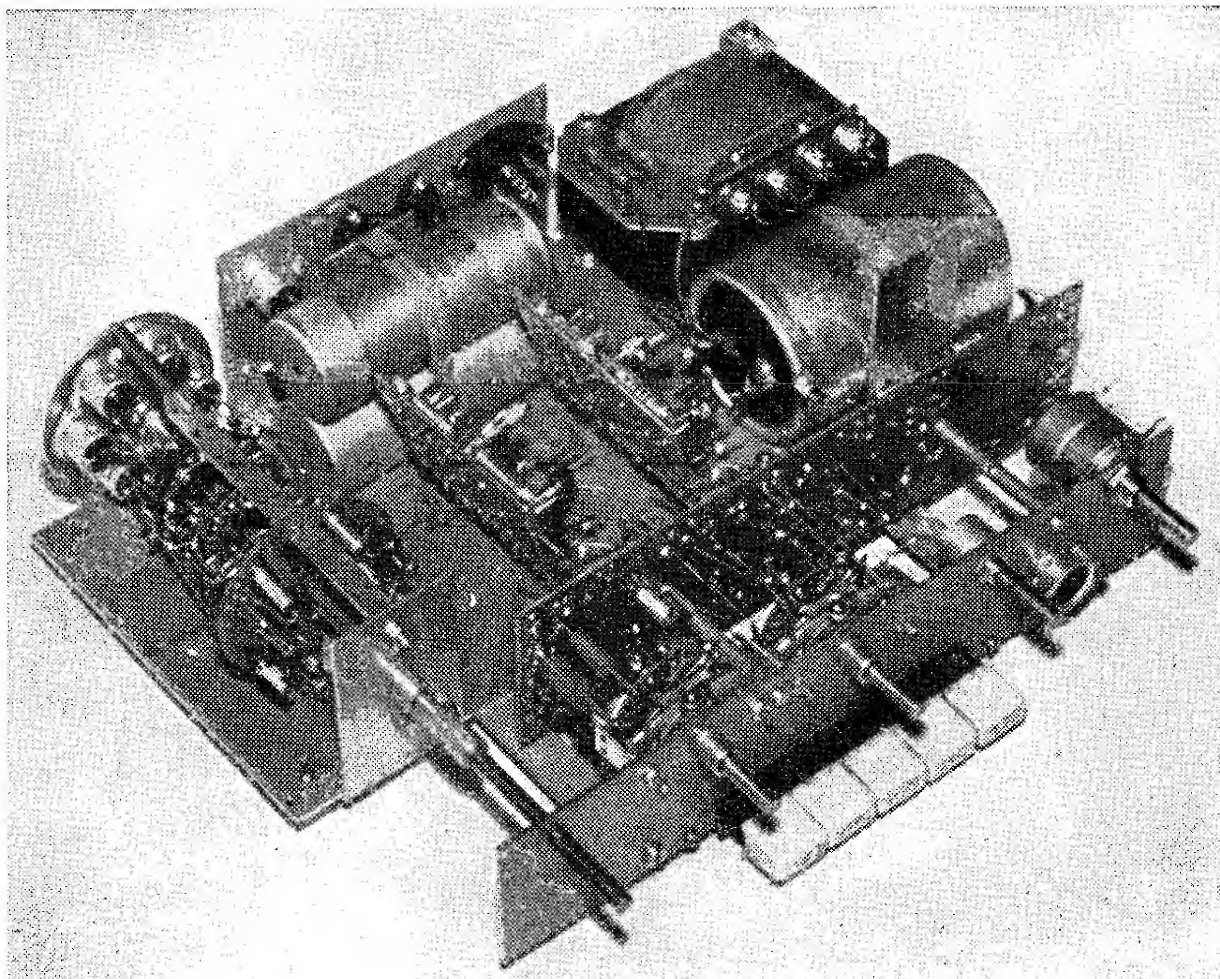
## CELOTRANZISTOROVÝ STEREOFONNÍ ZESILOVAČ $2 \times 10$ W - TRANSIWATT 3

Jiří Janda

Jako příklad vhodné kombinace stavebních jednotek, popisovaných v tomto čísle Radiového konstruktéra, uvádíme univerzální stereofonní zesilovač TRANSIWATT 3, který bude od léta tr. ve formě kompletních stavebnic k dispozici členům pražského Klubu elektroakustiky. Fotografie ukazují základní mechanickou sestavu zesilovače z jednoduchých dílů, které se dají snadno vyrábět i primitivními prostředky. Stručný popis celkového uspořádání a elektrických obvodů:

Mechanická sestava se skládá ze čtyř základních dílů, které se dobře odlišují i ve schématu. Vlevo je celý vstupní blok s oběma předzesilovači a vstupními konektory. Je sestaven v rámu běžného třísegmentového přepínače Tesla PN 533 18 i s konektory, takže spoje vycházejí velmi krátké. Celý vstupní blok je stíněn proti rušivým magnetickým polím ocelovou

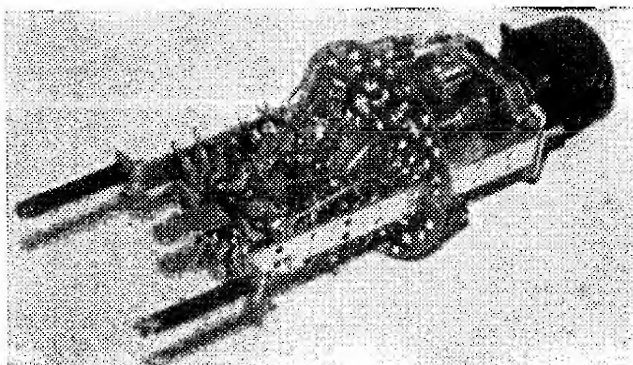
trubkou  $\varnothing 70 \times 2$  mm, dlouhou 148 mm, která je na vstupní blok zezadu jednoduše zasunuta. Dosahuje se tím mimořádně dobrého odstupu rušivého napětí, přestože je blízko síťový transformátor. V bloku je pět vstupních konektorů (viz schéma na str. 52, 53, 54) pro přenosku, magnetofonovou hlavu (19 cm/s), dynamický mikrofon či křemíkovou fotonku, diodový výstup přijímače a linku, kam lze zapojit i jiný zdroj signálu s vyšším výstupním napětím do 2,5 V. Šestý konektor ve vstupním bloku je pro stereofonní magnetofon s normalizovaným pětipólovým propojením. Na doteky 1 a 4 jde signál trvale z levého a pravého předzesilovače, takže lze nahrávat jakýkoliv pořad, přicházející ze vstupu. Výstup z manetofonového zesilovače jde na doteky 3 (levý kanál) a 5 (pravý kanál), a odtud na vstup ovládací jednotky, kde se upravuje barva zvuku,



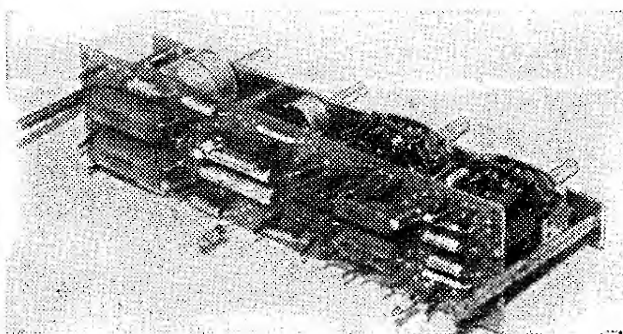
*Celkový pohled na Transiwatt 3 bez skříňky. Vlevo je vstupní blok bez stínící trubky*

jeho hlasitost a vyvážení obou kanálů. Magnetofonový konektor je propojen trvale, nikoliv přes vstupní přepínač. Stiskneme-li tlačítko „magnetofon“, odpojí se předzesilovače od ovládací jednot-

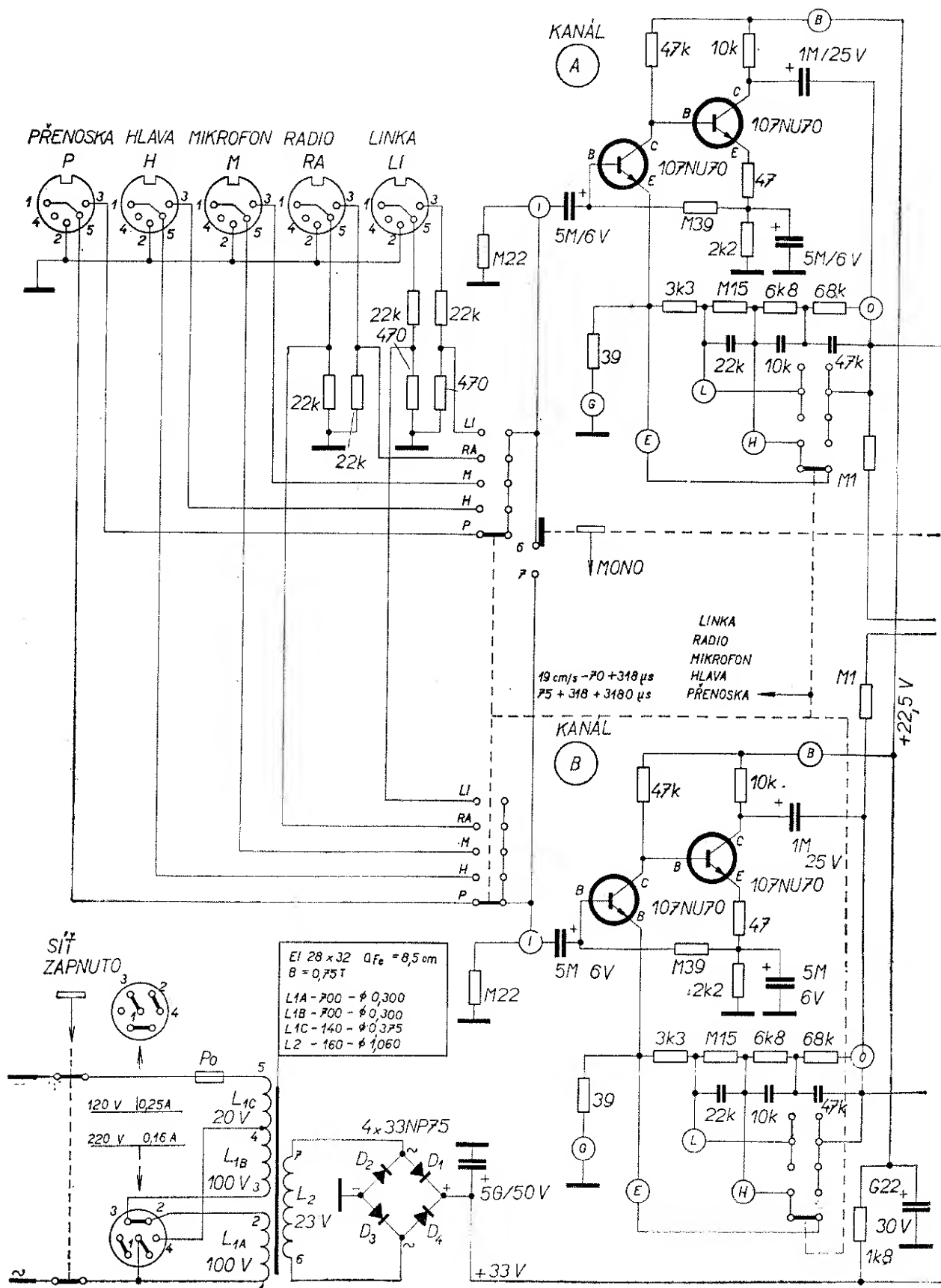
ky a do druhé části zesilovače přichází signál výhradně z magnetofonu. Uvolněním tohoto tlačítka se na vstupu ovládací jednotky znovu objeví signál ze vstupu. Máme-li magnetofon se samostatnou sní-



*Část vstupního bloku*



*Část ovládací jednotky v pohledu ze zadní strany*

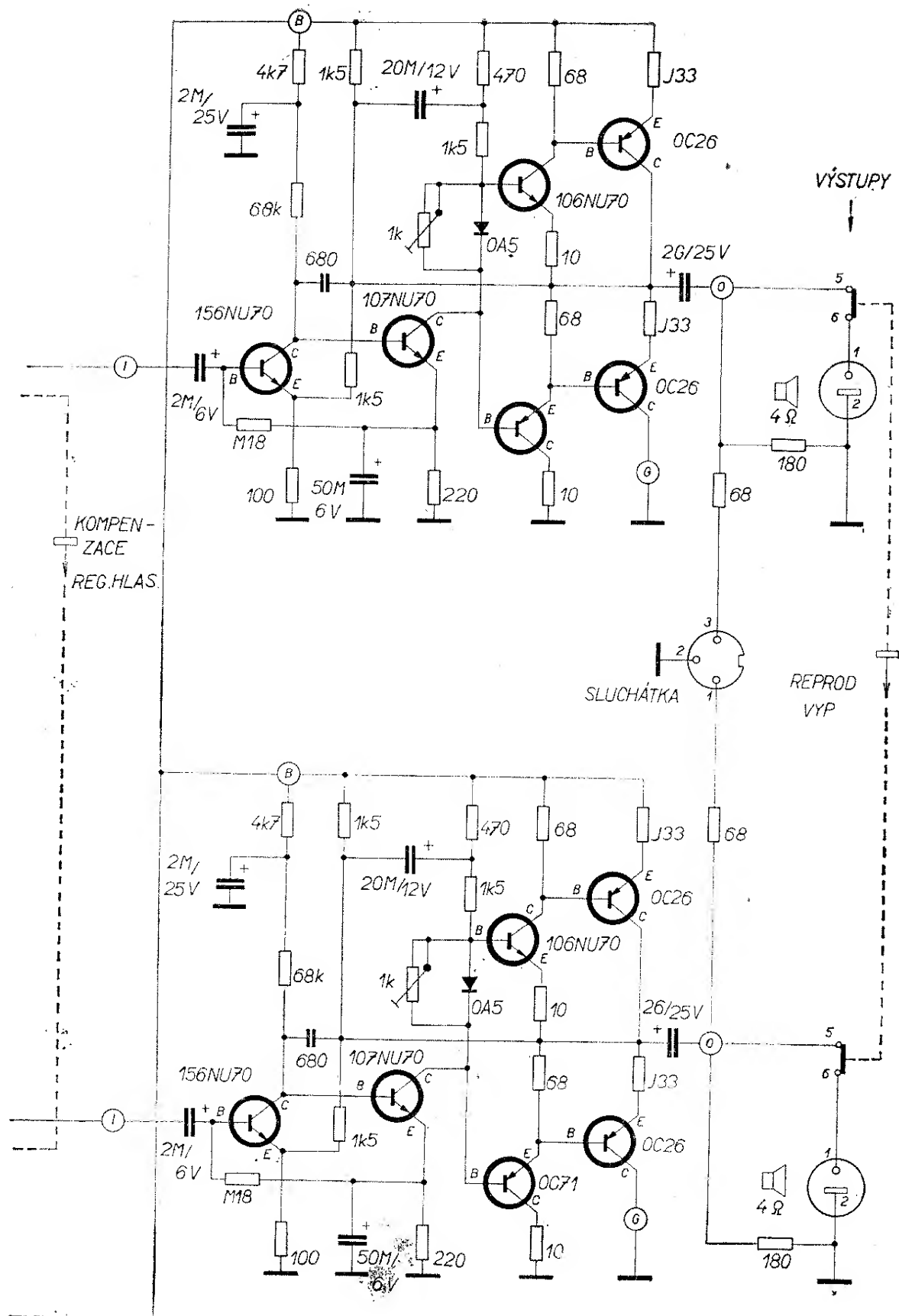


Transiwatt 3, list 1

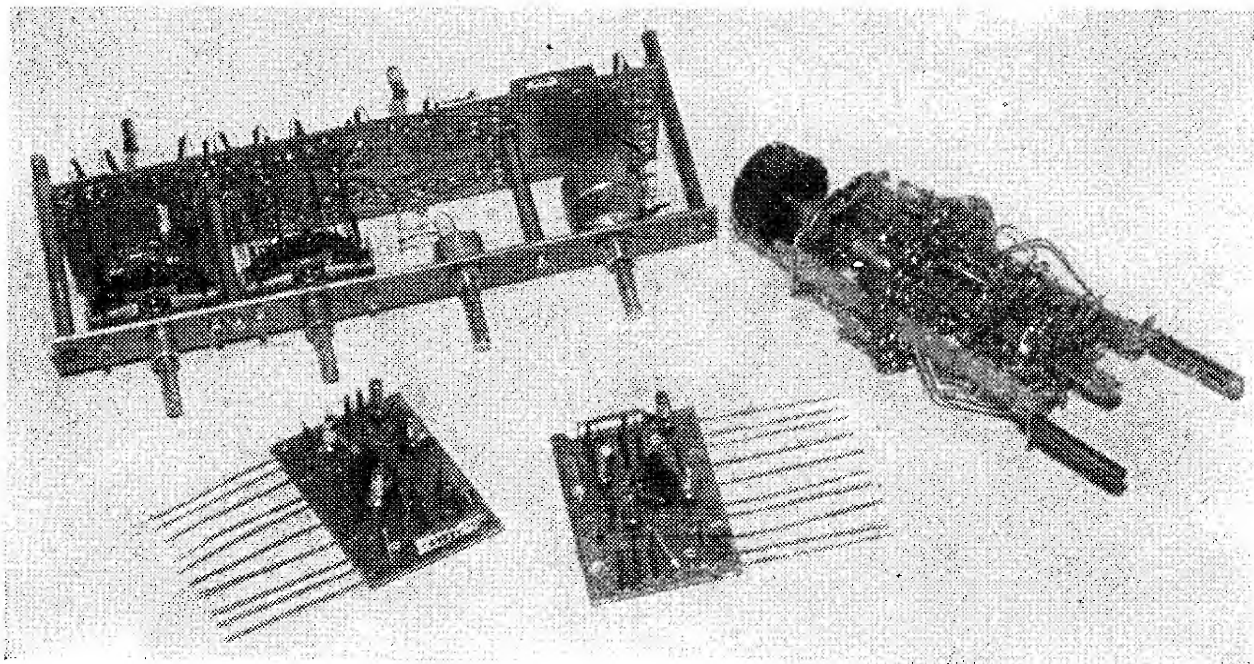
$$52 \cdot \frac{2}{65} R_K$$







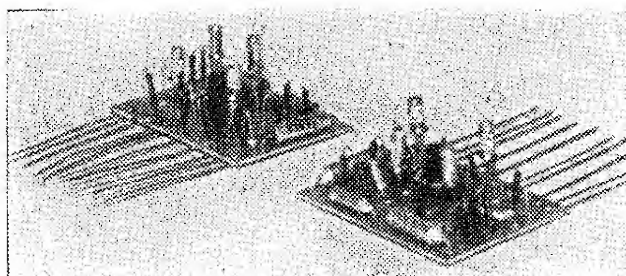
Transiwatt 3, list 3



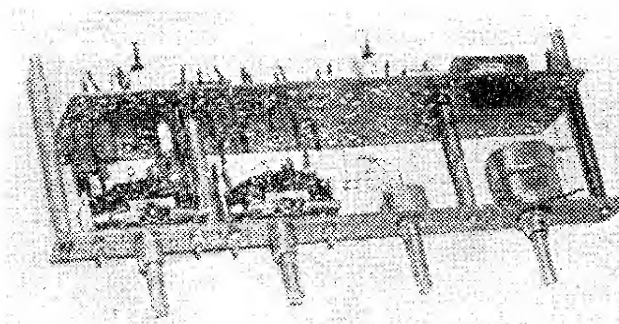
*Pohled na jednotlivé díly zesilovače Transiwatt 3: vpravo je část vstupního bloku bez konektorů, vzadu je ovládací jednotka bez tlačítkového přepínače, vpředu jsou dva výkonové zesilovače bez koncových tranzistorů*

mací i záznamovou hlavou a se samostatným snímacím zesilovačem (obvyklé profesionální uspořádání), můžeme tak při záznamu poslouchat nahraný pořad přímo z pásky, případně uvolněním tlačítka ho míchat se vstupním signálem. Protože signál ze snímací hlavy má určité zpoždění, lze tak vhodným nastavením rychlosti pásky a úrovně regulátoru na magnetofonu dosáhnout zajímavého ozvěnového efektu. Na výstupu ovládací jednotky je regulátor hlasitosti, tj. dvojitý logaritmický potenciometr s odbočkou asi na  $1/5$  celkového odporu od dolního konce

dráhy. Na odbočku jsou připojeny kmitočtově závislé členy RC, které při stisknutí tlačítka „kompenzace“ přidávají při menší hlasitosti nízké a vysoké kmitočty tak, jak to odpovídá poklesu citlivosti lidského ucha. Jde o tzv. fyziologický regulátor hlasitosti s průběhy přibližně podle Fletcher-Munsonových křivek. Protože dvojitý logaritmický potenciometry s dobrým průběhem a ještě k tomu s odbočkou nejsou u nás dosažitelné, lze je s úspěchem realizovat ze dvou spřažených 25 polohových radičů Tesla, z nichž se odstraní záskočková aretace a mezi doteky se



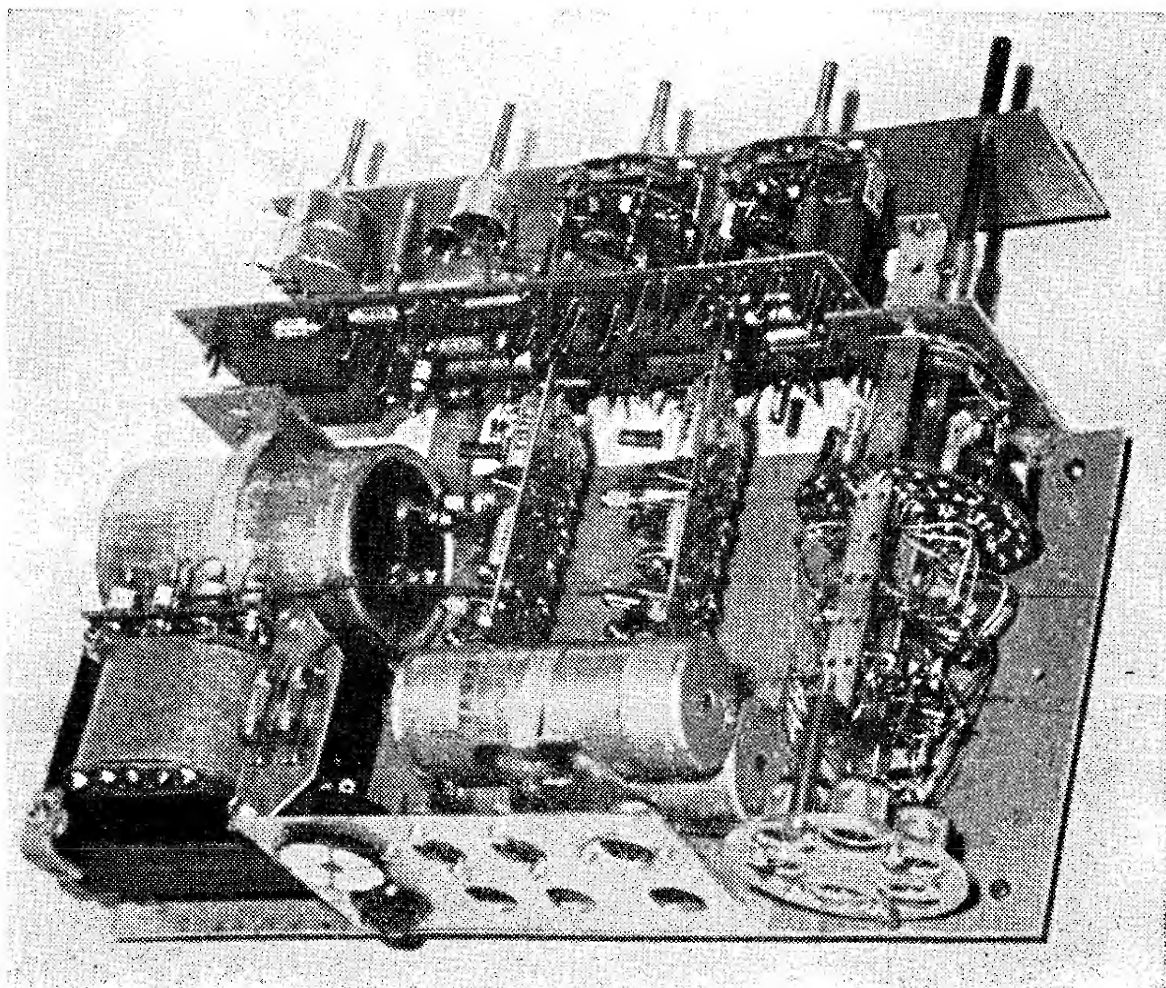
*Pohled na oba výkonové zesilovače bez koncových tranzistorů*



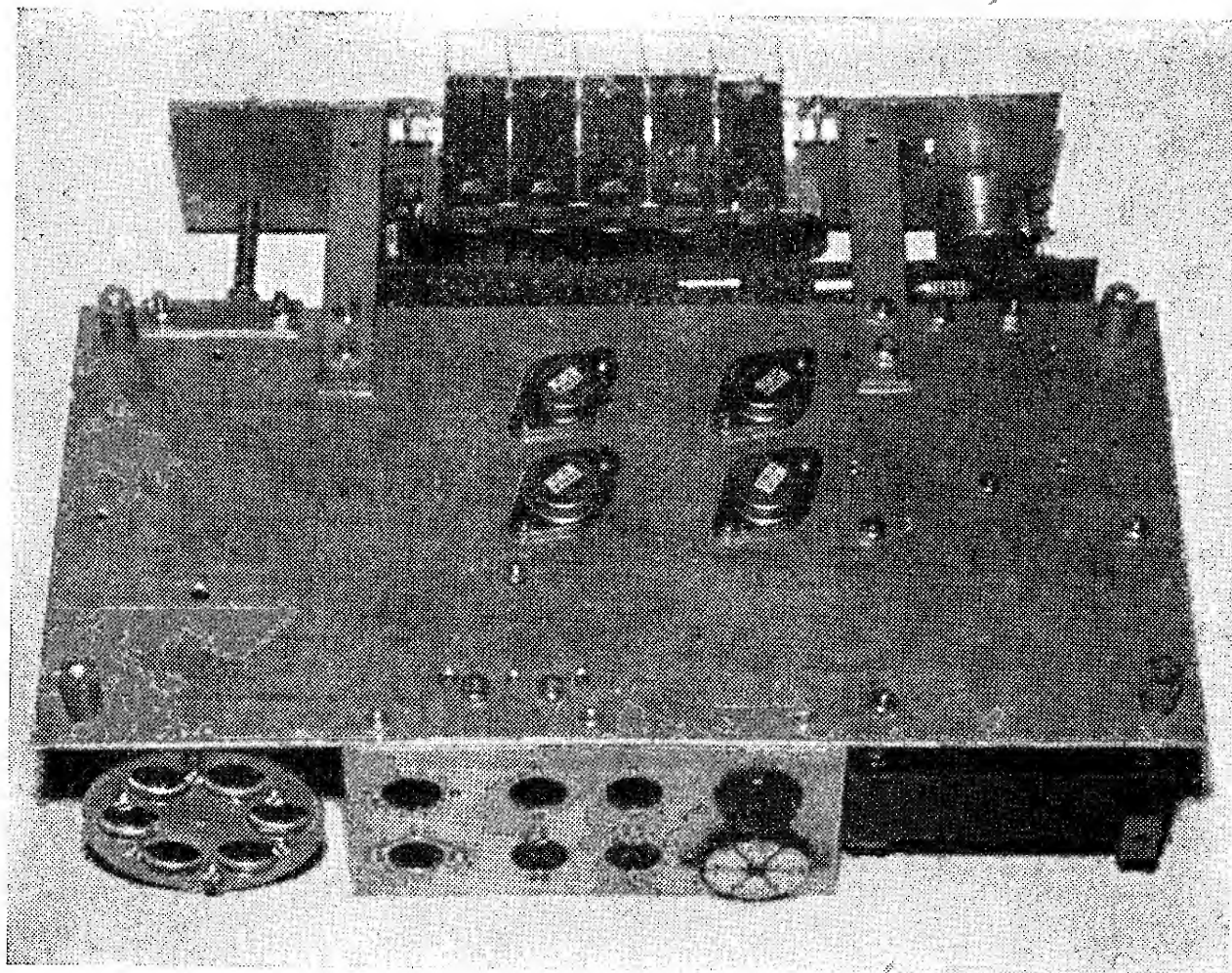
*Ovládací jednotka bez tlačítkového přepínače*

připájí  $2 \times 25$  vhodně volených odporů co nejmenšího typu. Hlasitost obou kanálů se vzájemně vyvažuje regulátorem „balance“. Je to lineární potenciometr  $2,5 \text{ k}\Omega$ , který při pohybu běžce mění zápornou zpětnou vazbu v obou kanálech tak, že v jednom zesílení klesá a v druhém stejnou měrou stoupá – a naopak. Na výstupu ovládací jednotky je ještě druhý konektor pro stereofonní magnetofon. Snímací strana je propojena s prvním magnetofonovým konektorem, ale záznamové doteky odebírají tentokrát signál ze zesilovače až za tónovými korekcemi a vyvažovacím regulátorem. Odtud lze tedy nahrávat signál, který potřebuje určitou úpravu basů či výšek, případně i vyvážení obou kanálů. Zvláště tlačítko „mono“ propojí při stisknutí vzájemně nejen vstupy předzesilovačů, ale také koncových stupňů, takže umožní jak do vstupních,

tak do magnetofonových konektorů připojovat stereofonní i monofonní zdroje signálu i magnetofony a nahrávat např. stereofonní signál smíchaný na jednostopý monofonní magnetofon, signál z monofonního magnetofonu poslouchat přes oba reproduktory a všechny ostatní podobné kombinace. Dva *koncové stupně* odevzdávají signál přes normalizované konektory do reproduktorů, které můžeme vypnout tlačítkem „vyp. rep.“ v případě, že chceme poslouchat na stereofonní sluchátka. Jejich konektor je na přední straně zesilovače a signál sem jde přes odpory, aby hlasitost sluchátkového poslechu odpovídala svou úrovní hlasitosti reproduktorů. *Napájecí zdroj* je čtvrtým celkem zesilovače a ss proud se odtud odebírá do předzesilovačů i do ovládací jednotky před oddělovací filtry RC. Každý koncový stupeň se napájí přes zvláštní pojistku,



*Pohled na celý zesilovač ze zadní strany*



*Pohled na výkonové tranzistory, upevněné na dolní nosné desce*

umístěnou na síťovém transformátoru v otevřeném pérovém držáčku. Při eventuální poruše tranzistoru vysadí pak jen jeden kanál a pořad lze aspoň nouzově dohrát na jeden kanál. Je však třeba dodat, že při dobrých tranzistorech a pečlivé práci takové poruchy nenastanou, neuděláme-li ovšem zkrat na výstupní lince zatíženého zesilovače.

Písmena v kroužcích na schématu značí shodně označené pájecí vývody destiček s plošnými spoji tří základních jednotek: dvou předzesilovačů, ovládací jednotky a dvou výkonových zesilovačů.

Celý zesilovač bude umístěn v moderním plochém kovovém pouzdře s povrchem z ušlechtilého dřeva. Vpředu na zrcadlovém panelu bude pět knoflíků, uspořádaných zleva takto: vstupní přepínač, výšky, basy, balance a hlasitost.

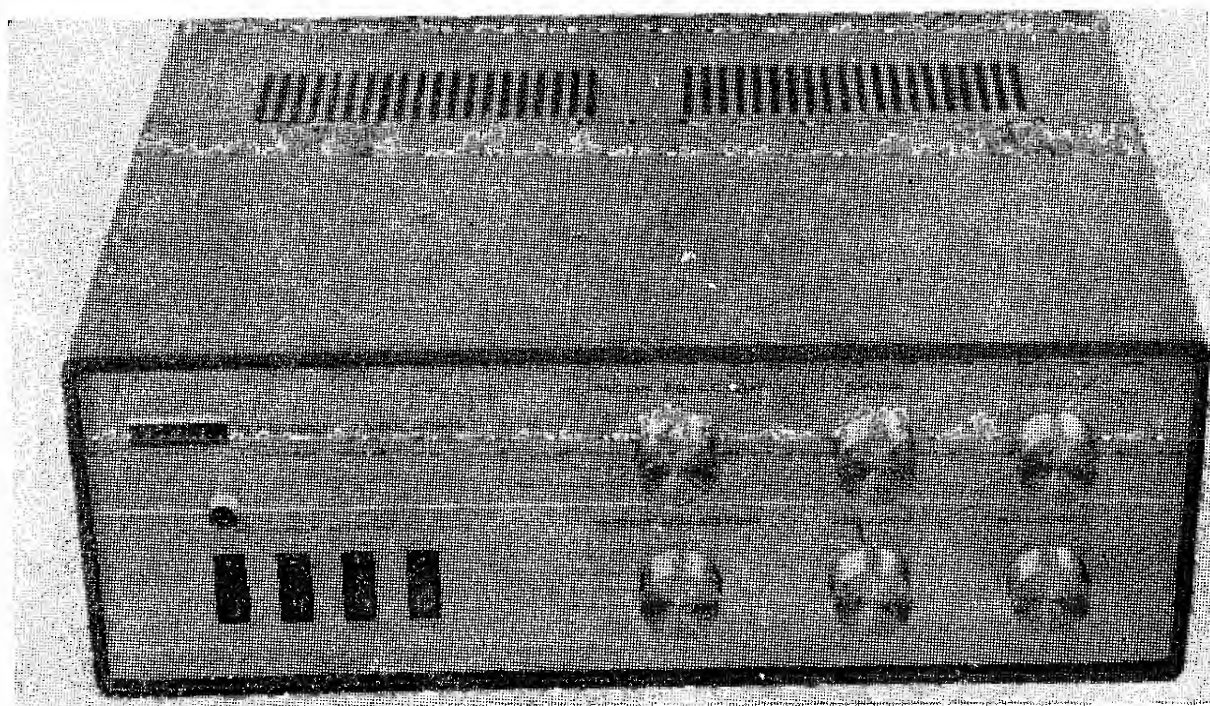
Pod nimi je pět tlačítek (zase zleva): mono, magnetofon, kompenzace, vypínání reproduktorů a síť. Vpravo vpředu je konektor pro sluchátka. Fotografie jsou ze závěrečné vývojové etapy, protože v době uzávěrky tohoto čísla nebyl konečný vzorek zesilovače ještě hotov, a proto také na fotografiích chybí některé spoje. Obrázek konečné podoby přineseme při jiné příležitosti. Zároveň jsme narazili na velkou potíž, když jsme tento návod chtěli doplnit obrázkem plošných spojů a rozložení součástek – pro malý formát našeho časopisu se nepodařilo tyto obrázky umístit. Proto se k tomuto kvalitnímu zesilovači ještě vrátíme na stránkách některého z nejbližších čísel časopisu Amatérské radio, kde uvedeme hlavně obrazec plošných spojů s rozmístěním součástek.

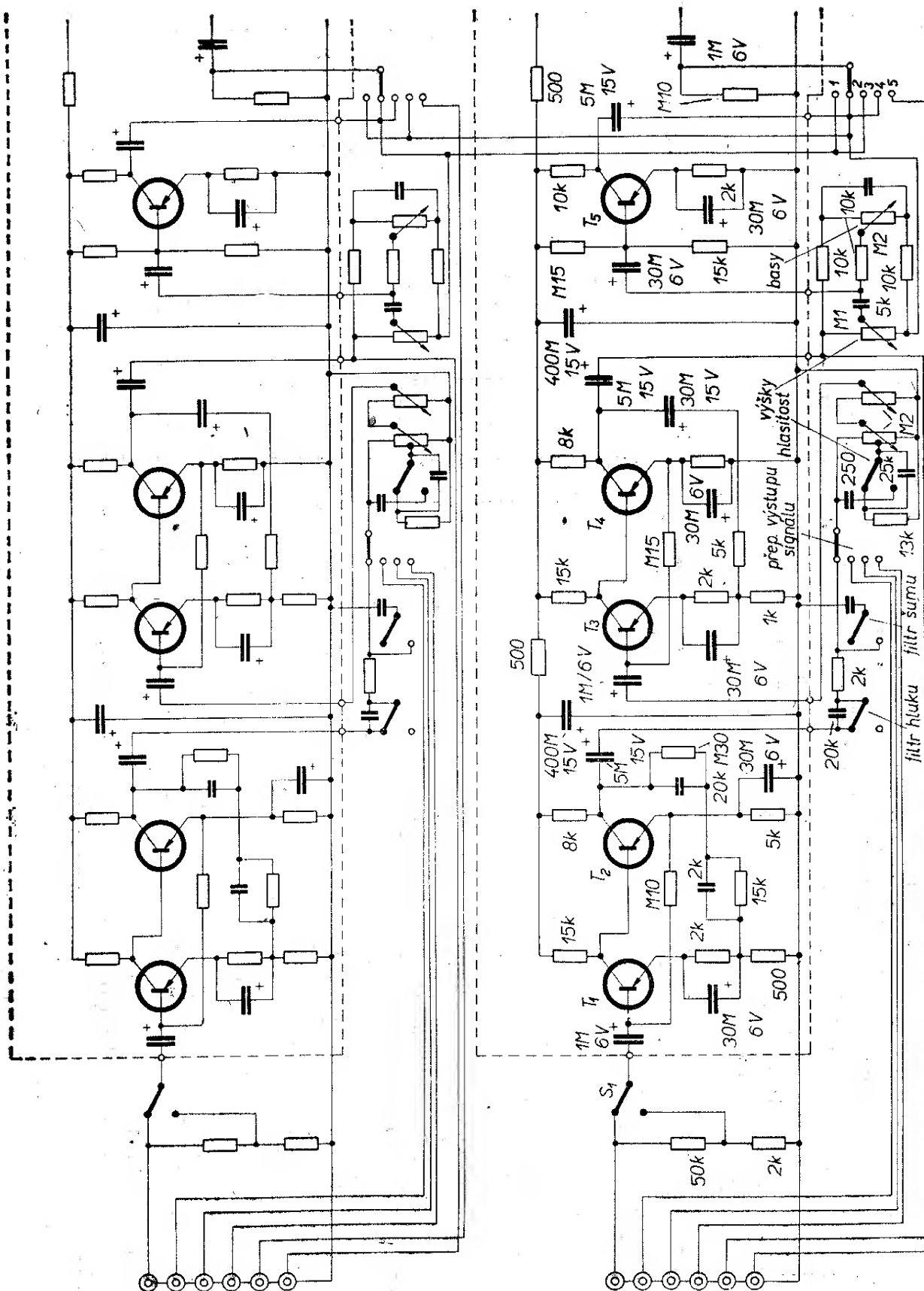


# TRANZISTOROVÝ STEREOFONNÍ ZESILOVAČ CORAL A-7

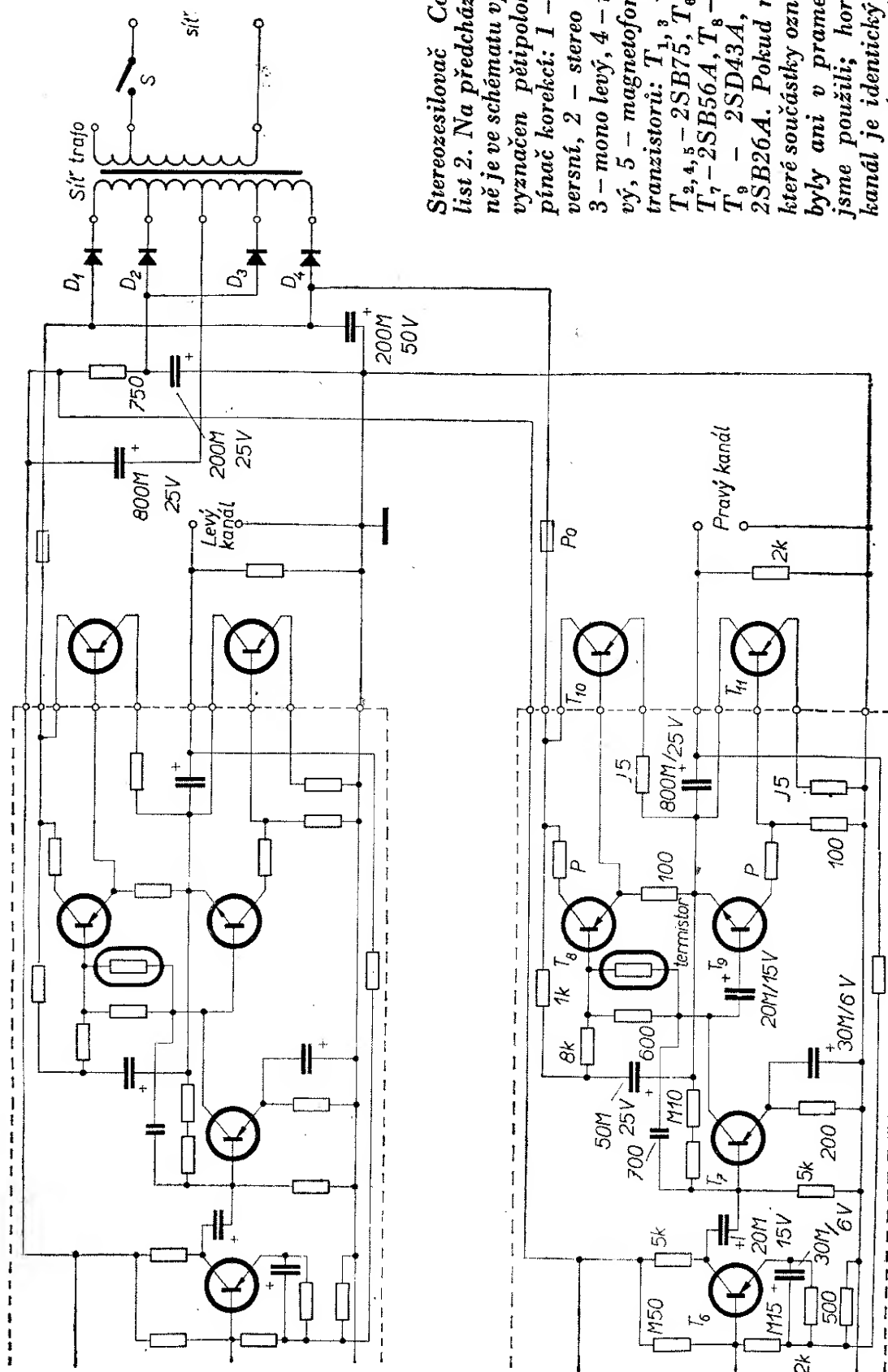
Japonci přinesli na trh v poslední době řadu podobných tranzistorových zesilovačů a uváděný příklad je zcela typický. Fotografie i základní zapojení silně připomínají americký konstrukční směr, jako ostatně i všechny další japonské výrobky s polovodiči. Zesilovač má čtyři vstupy pro přenosku (lze volit mezi magnetickou a krystalovou), radio, magnetofonový zesilovač a linku, či jiný zdroj většího signálu. Není tu tedy vstup pro magnetofonovou hlavu, který u těchto zesilovačů musí mít největší citlivost a proniká do něho snadno bručení z rozptylového pole síťového transformátoru, nebrání-li tomu vhodná konstrukční úprava. První dvojice tranzistorů tedy slouží jen jako korekční předzesilovač pro přenosku, a všechny ostatní zdroje signálu musí mít vyšší úroveň signálu okolo 100 mV. Přes vstupní přepínač jdou signály na druhou dvojici tranzistorů. Zde jsou dva jednoduché filtry proti šumu a proti hluku gramofonového mechanismu. Následuje vyvažovací regulátor v podobě dvojitého potenciometru, jehož obě půlky jsou zapojeny proti sobě a mají základní útlum min.

6 dB. To není nejlepší uspořádání, ztrácí se zbytečně zisk. Regulátor hlasitosti lze také kompenzovat, ovšem jen u nízkých kmitočtů, což nepůsobí dosti přirozeně při poslechu. Pak následuje další tranzistor se zpětnovazební tónovou korekcí výšek a basů, které se ovládají dvěma dvojitými potenciometry. Popis podobných obvodů je v textu o korekčních obvodech v konstrukční části tohoto čísla. Za výstupem tohoto obvodu je přepínač, kterým lze přehodit levý kanál na místo pravého a naopak, hrát jen levý či pravý kanál přes oba reproduktory, popřípadě odposlouchávat pořad ze snímacího zesilovače připojeného magnetofonu. To je tzv. páskový monitor, jak je i v zesilovači Transiwatt 3. Ovšem kombinace funkcí tohoto přepínače poněkud omezuje jejich samostatné využití. Koncové stupně jsou v obvyklém paralelním dvojčinném zapojení, které se příliš neliší od většiny podobných zesilovačů. Za zmínku stojí ochrana budičích i koncových tranzistorů dvěma moderními polovodičovými prvky. Říká se jim posistory a v podstatě jsou to odpory,





Stereozesilovač Coral - A7, list 1



Stereozesilovač Coral A-7,  
list 2. Na předcházející stránce  
je ve schématu vpravo dole  
vyznačen pětipolohový přepínač korekcí: 1 – stereo re-  
versní, 2 – stereo normální,  
3 – mono levý, 4 – mono pra-  
vý, 5 – magnetofon. Osazení  
tranzistorů: T<sub>1,3</sub> – 2SB73,  
T<sub>2,4,5</sub> – 2SB75, T<sub>6</sub> – 2SB74,  
T<sub>7</sub> – 2SB56A, T<sub>8</sub> – 2SB43A,  
T<sub>9</sub> – 2SD43A, T<sub>10,11</sub> –  
2SB26A. Pokud nejsou ně-  
které součástky označeny, ne-  
byly ani v prameni, který  
jsme použili; horní (levý)  
kanál je identický s dolním  
(pravým)



které při zahřátí vyšším procházejícím proudem silně zvětšují hodnotu svého ohmického odporu. Mají tedy kladný tepelný součinitel na rozdíl od negativního, jaký známe u termistorů, které pracují právě obráceně. Posistory  $P$  jsou zařazeny v obvodu budících tranzistorů a při zahřátí následkem zkratu apod. prakticky znemožní vzrůst proudu na nebezpečnou hodnotu. Takové prvky bychom opravdu moc potřebovali také u nás. Jištění výkonových zesilovačů by se nám značně zjed-

nodušilo. Vzhled zesilovače je velmi pěkný, střízlivý a elegantní. Jistě by vyhovoval i evropskému vkusu a prozrazuje ruku vynikajícího průmyslového výtvarníka. Našemu vkusu však nevyhovuje údaj výstupního výkonu zesilovače, který jsme si dovolili podrobit mírné kritice za účelem osvětlení často se vyskytující wattové propagandy. Protože tato otázka je velmi zajímavá, rozhodli jsme se jí věnovat samostatný článek.

## PŘEJETE SI TRANZISTOROVÝ STEREOFONNÍ ZESILOVAČ O VÝKONU 10, 20, 32 NEBO 64 W?

Nemusíte se rozhodovat, úplně vám k tomu stačí jediný zesilovač, např. takový, jaký popisujeme v tomto čísle Radiového konstruktéra, Transiwatt 3. Jde totiž pouze o to, jak se na svůj zesilovač budete dívat a podle jaké zvyklosti vyjádříte dosažitelný výstupní výkon a jakým stejnosměrným napětím ho budete napájet.

Různé vyjadřování výkonů známe dnes hlavně z amerických prospektů a časopisů, kde se jejich výrobci snaží pomoci svým 10 až 15 W zesilovačům (udáno podle naší zvyklosti) k lepšímu odbytu tím, že u nich udávají výkony dva – až šestkrát vyšší. Protože mají do jisté míry pravdu, nejde tu o vyložený podvod, ale o tak zvanou *wattovou propagandu*. Podívejme se na ty wattů blíže:

Tranzistorový výkonový zesilovač odevzdá do zátěže  $4\ \Omega$  efektivní sinusové výstupní napětí rovné asi  $1/4$  velikosti stejnosměrného napájecího napětí. Má-li tedy stejnosměrný zdroj při zatížení asi 25 V, dostaneme na výstupu asi 6,3 V<sub>ef</sub>, což při zátěži  $4\ \Omega$  představuje výkon  $P = 6,3^2 : 4 \doteq 10\text{ W}$ . To na svém zesilovači naměříte a je to tzv. sinusový výkon (anglicky, či spíše americky steady state power, conservatively rated sinus power apod.). Ovšem v každé špičce signálu je výstupní napětí větší  $\sqrt{2}$ krát. Při špičce je tedy okamžitý výkon větší o 3 dB, tj. dvakrát. Přejete-li si, můžete tedy o svém zesilovači říkat, že má špičkový výkon 20 W (angl. a amer. peak power). A teď uvažujte místo sinusového buzení z generáto-

ru přirozený hudební signál, kde se střídají silná místa – tj. špičky signálu – se slabými místy, jichž je většina. Ve slabých pasážích je odevzdaný výkon a tedy i odběr ze zdroje značně nižší a elektrolyty zdroje jsou nabity téměř na maximální napětí usměrňovače, tj. 30 až 33 V. Přejde-li na vstup zesilovače občas špička signálu, zesilovač ji zpracuje bez ořezání dříve, než se stačí elektrolyty ve zdroji vybit na nižší napětí. Tento jev se většinou opakuje, jak se můžete přesvědčit měřením neořezaných špiček na osciloskopu. Zjistíte, že ve špičkách váš zesilovač odevzdá až  $8 \cdot \sqrt{2} = 11,3\text{ V}$ , což odpovídá špičkovému výkonu  $P = 11,3^2 : 4 = 32\text{ W}$ ! (Amer. IHFM, music power).

A když vám ani to nestačí, zvýšíme si klidně tento údaj na 64 W: u stereofonního zesilovače jsou to již dva stejné kanály a obvykle mají špičku ve stejný okamžik. A to je celé wattové kouzlo.

Jestliže vaše výkonové tranzistory vydrží asi o  $1/3$  vyšší napájecí napětí, tj. kolem 40 V a použijete jej, můžete s klidným svědomím svůj zesilovač vydávat za 100 W.

U nás jsme zatím zvyklí vyjadřovat výkon v souhlase s čs. normou, kde se mluví o trvalém sinusovém výkonu (tj. asi 10 W u našeho zesilovače). Ve skutečnosti je však opravdu dosažitelný špičkový výkon při reprodukci hudby podstatně vyšší. Platí to ovšem jen o tranzistorových zesilovačích ve třídě B s jednoduchým napájecím zdrojem.

# REPRODUKTORY TESLA

(k II. straně obálky)

V tomto čísle opět uvádíme údaje reproduktorů Tesla, vhodných pro konstrukci reproduktorových soustav jak pro el. hudební nástroje, tak i pro použití v kvalitních elektroakustických zařízeních při reprodukci.

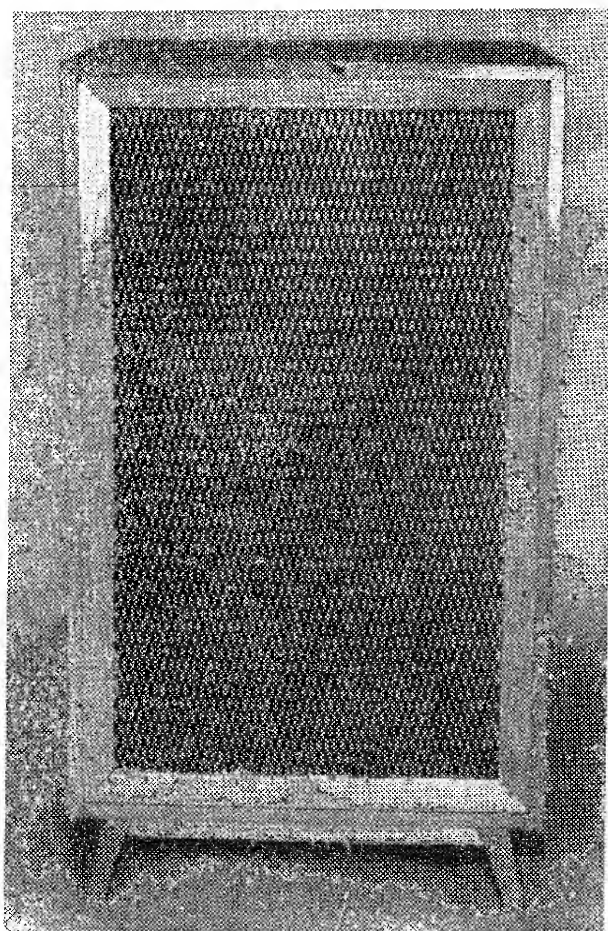
Jednotlivé typy reproduktorů jsou seřazeny podle použití. Jako první je v tabulce uveden typ ARO 835, což je hlubokotónový reproduktor pro třípásmovou reproduktorovou soustavu. Prakticky stejnou kmitočtovou charakteristiku má typ ARO 814, který je snáze k získání. Hodnoty podle tabulky se pro ARO 814 změní jen nepatrně: rez. kmitočet = 40 Hz, char. citl. = 93 dB, sycení v mezeře = 8000 gauss. Typ ARO 814 byl vyráběn s magnetem ze slitiny AlNi a je skutečně jediným vhodným hlubokotónovým reproduktorem na našem trhu. Výrobce Tesla Valašské Meziříčí nyní vyrábí pouze typ ARO 835 s magnetem AlNiCo.

Další skupinu tvoří tzv. středotónové reproduktory ARO 669, ARE 669, ARO 689, ARE 689. Druhé písmeno typového označení (6 nebo 8) udává typ magnetického obvodu reproduktoru. Číslo 6 značí feritový magnet, s větším rozptylovým polem, číslo 8 značí bezrozptylový magnetický systém. Tyto uváděné typy reproduktorů jsou nejvhodnějšími druhy pro střední akustické pásmo.

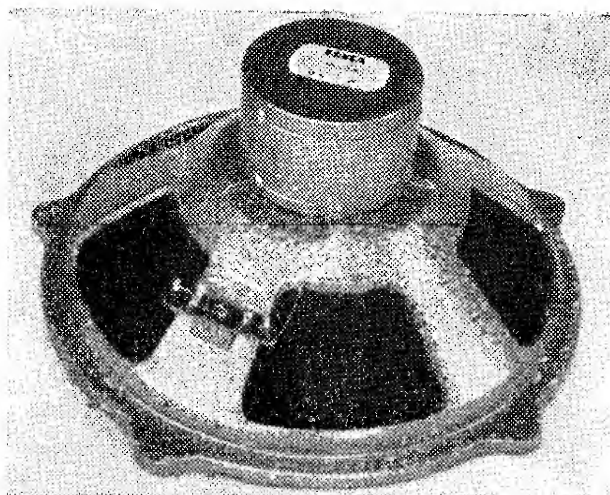
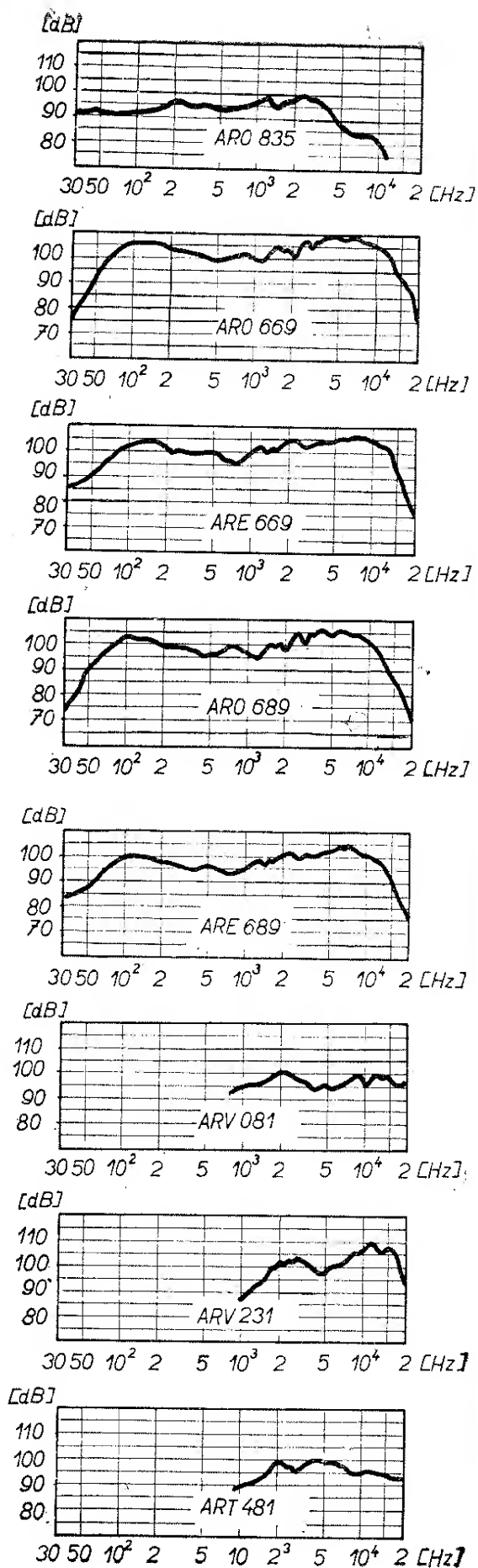
Třetí skupina tří reproduktorů jsou vysokotónové. První dva, ARV 081 a ARV 231 mají magnetický obvod bezrozptylové konstrukce, membránu ze speciálně upravené, impregnované buničiny. Koš reproduktorů je uzavřen, takže reproduktor nemusí být umístěn v odděleném prostoru ve skříni reproduktorové soustavy. Typ ART 481 je speciální výškový tlakový reproduktor, jehož zvukovod má štěrbinové hyperbolické vyústění. V elektrodynamickém tlakovém systému se pohybuje speciální tvrzená membrána s kmitací cívkou. K upevnění tohoto reproduktoru se doporučuje individuálně přizpůsobený držák. Doporučený mezní kmitočet elektrické výhybky je 8000 Hz nebo více.

Závěrem by bylo prospěšné podotknout, že kmitočtové charakteristiky, uváděné

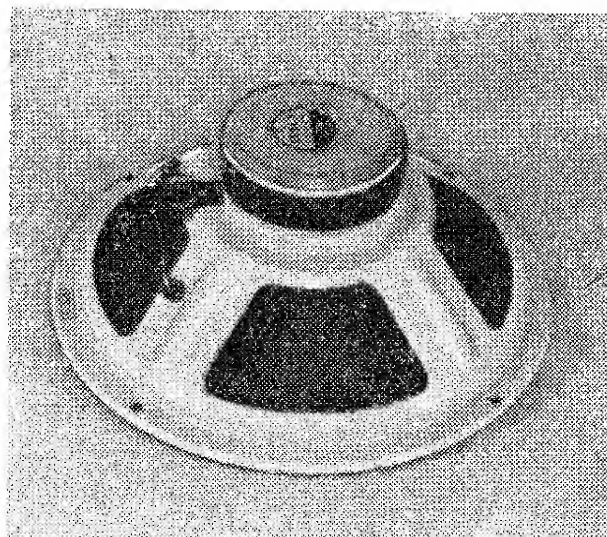
podle měření výrobního závodu, slouží pouze k informativnímu určení možné výsledné křivky konstruované reproduktorové soustavy. Jsou měřeny za zcela jiných podmínek, než v jakých reproduktor skutečně pracuje. Souvisí to s tím, že na výslednou kmitočtovou charakteristiku má vliv zvláště ozvučnice a mnoho dalších faktorů, které nelze předem definovat. Dosavadní bohaté zkušenosti s konstrukcí reproduktorových soustav pro domácí použití při kvalitní reprodukci záznamů mluví jednoznačně pro třípásmovou kombinaci s použitím reproduktorů ARO 814, (835), ARO 669 (689) a ART 481. Pro hudebníky jsou vhodné dvoupásmové soustavy bez vysokotónových reproduktorů.



Pohled na třípásmovou reproduktorovou soustavu amatérské výroby s reproduktory TESLA



*Hlubokotónový reproduktor ARO 814*



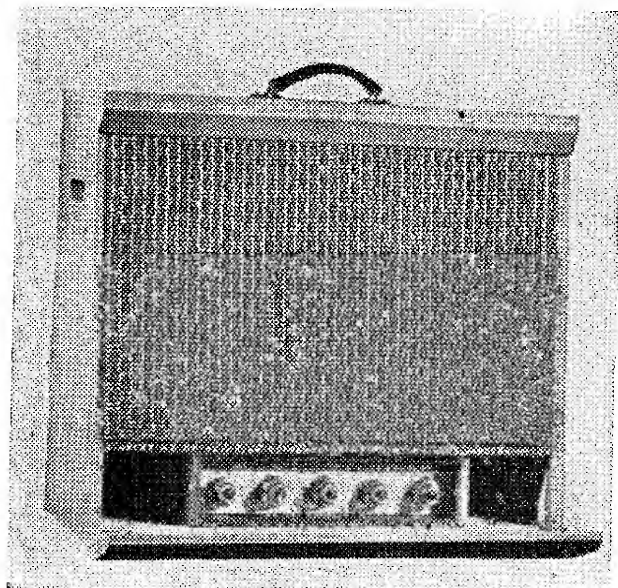
*Feritový reproduktor ARO 669*



*Tlakový vysokotónový reproduktor  
ART 481*

## ZESILOVAČ ALL - TRAN

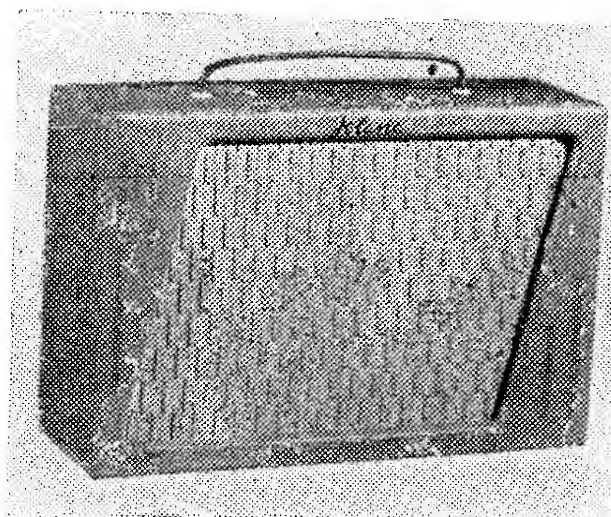
Jediným výrobcem elektrofonických hudebních nástrojů u nás jsou Československé hudební nástroje, n. p., v Hradci Králové. Kromě jiných výrobků (dechových hudebních nástrojů, pian apod.) vy-



*Reprodukční soustava se zesilovačem zn. Jolana, model Hi Fi 10*

rábí elektrofonické kytary a příslušenství k nim. V první řadě k těmto doplňkům patří zesilovače s reproduktory jako samostatná přenosná jednotka. Dosud byly vyrobeny tři: Hi Fi 10, All-Tran a Standard. Model Hi Fi 10 má výkon 10 W a pět reproduktorů (1 hlubokotónový a 4 vyš-

kové). All-Tran, jehož schéma uvádíme na IV straně obálky, je jediný z těchto tří osazen tranzistory, napájí se z baterií, má dva reproduktory a výkon 4 W při 10 % maximálního zkreslení (nf citlivost max. 30 mV, kmitočtová charakteristika s korekcemi při 50 Hz min. - 10 dB, při 10 kHz min. +5 dB, odstup hluku a brumu min. 40 dB, jmenovité napětí zdroje 31,5 V, odběr proudu max. 300 mA při vybuzení na jmenovitý výkon 4 W a 80 mA bez vybuzení, oba reproduktory typu ARO 511). Třetí model Standard má jeden reproduktor a výkon 4 W, kromě toho spínací šlapku sólo-doprovod. Z těchto výrobků je v prodeji pouze



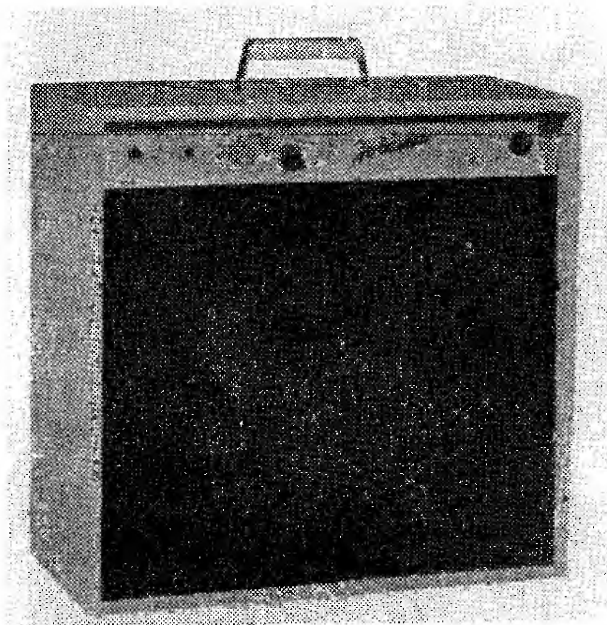
*Reprodukční soustava se zesilovačem zn. Jolana, model All-Tran*

**RADIOVÝ KONSTRUKTÉR** – časopis Svazarmu, vychází dvouměsíčně. Vydává Vydavatelství časopisů MNO, Praha 1, Vladislavova 26, tel. 234 355-7 ● Hlavní redaktor František Smolík ● Redakční rada: K. Bartoš, inž. J. Čermák, K. Donát, O. Filka, A. Hálek, inž. M. Havlíček, V. Hes, inž. J. T. Hyan, K. Krbec, A. Lavante, inž. J. Navrátil, V. Nedvěd, inž. J. Nováková, inž. O. Petráček, K. Pytner, J. Sedláček, J. Vetešík, L. Zýka ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, telefon 223 630 ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 3,50 Kčs, pololetní předplatné 10,50 Kčs, roční předplatné 21,— Kčs ● Rozšiřuje Poštovní novinová služba, v jednotkách ozbrojených sil VČ MNO – administrace, Praha 1, Vladislavova 26. Objednávky přijímá každý poštovní úřad a doručovatel ● Dohlédací pošta Praha 07 ● Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS – vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Tiskne Naše Vojsko, závod 01, Na valech 1, Praha 6, Dejvice ● Za původnost příspěvků ručí autor. Redakce rukopis vrátí, bude-li vyžádán a bude-li připojena frankovaná obálka se zpětnou adresou ● Toto číslo vyšlo 20. dubna 1965.

© Vydavatelství časopisů MNO Praha

A-23\*51148

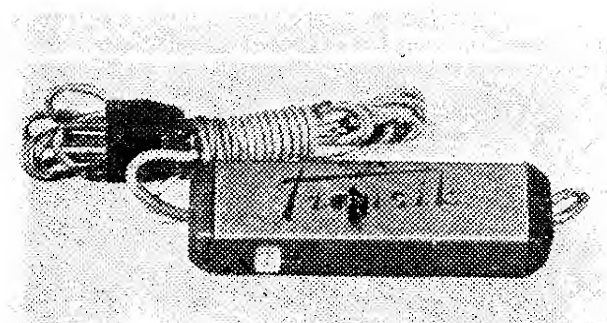




*Reprodukční soustava se zesilovcem zn. Jolana, model Standart*

třetí model, první dva se již nevyrábějí a podle příslibu se uvažuje o dalším doplnění tohoto sortimentu.

Dalším výrobkem závodu je TRIK pedál, který umožňuje ovládání přednesu kytary s libovolnou hlasitostí a regulovatelným vibrátem. Je vhodným doplňkem pro ty, kdo vlastní jednoduchý zesilovač, nebo používají pro reprodukci stabilní zesilovač v kombinaci s dalším výrobkem tohoto závodu, tranzistorovým předzesilovačem Transik, který ze-



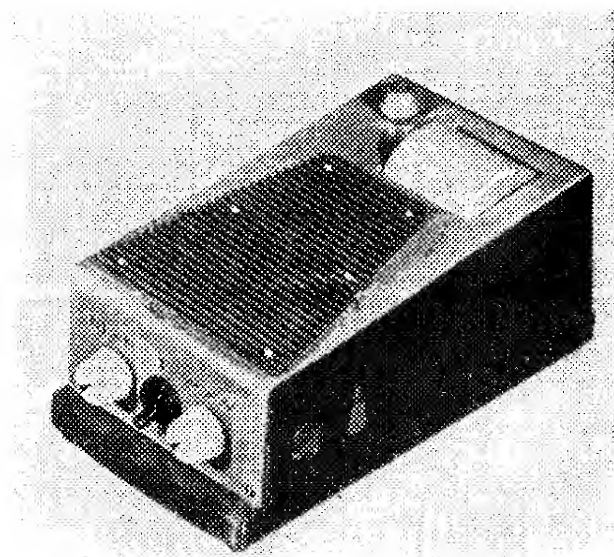
*Tranzistorový předzesilovač zn. Jolana, model Transik*

sílí signál ze snímače kytary na dostatečnou úroveň pro vybuzení dalšího zesilovače.

Ve výčtu výrobků závodu můžeme uvést některé elektromagnetické snímače pro kytaru – Brilant, Forte a Forte-Panel II.

V prodejnách hudebních nástrojů se již objevila další novinka, atraktivní elektrofonická kytara Big-Beat, která má kromě svého tranzistorového zesilovače a reproduktoru též středovlnný tranzistorový přijímač, takže po vysílujícím výkonu hudebníků může zábava pokračovat při standartní rozhlasové kulise rozhlasového pořadu. Je to jistě zajímavý nápad a uplatní se hlavně při pobytu v přírodě. Byli jsme informováni, že tato kytara je všude v prodeji a samozřejmě jako všechny hudební nástroje ji lze získat též koupí na doplňkovou půjčku. A konečně, závod připravuje výrobu dozvukového zařízení a jiné novinky, o kterých budeme naše čtenáře informovat na stránkách časopisu Amatérské radio.

Během přípravy tohoto článku se nám nepodařilo zevrubně vyšetřit otázku, proč se nepočítá s další výrobou zesilovačů typu Hi Fi 10 apod., proto se k této věci ještě v budoucnu vrátíme.



*Přístroj pro vytváření zvukových efektů zn. Jolana, model Trik*

Typ	Max. příkon (VA)	Impedance ( $\Omega$ )	Rezonanční kmitočet (Hz)	Kmitořtový rozsah (Hz)	Charakte- ristická citlivost (dB)	Sycení v mezere (gauss)	Rozměry (mm)	Výška (mm)	Otvor v ozvučnici (mm)	Váha (kp)
ARO 835	10	4	35	30—4000	95	10 000	Ø 338	158	Ø 300	5,25
ARO 669	5	4	70	60—11 000	93	11 000	Ø 203	80	Ø 176	0,8
ARE 669	5	4	70	60—12 000	91	11 000	255 × 160	76	230 × 135	0,46
ARO 689	5	4	70	60—11 000	91	8500	Ø 203	84	Ø 176	0,45
ARE 689	5	4	70	60—12 000	90	8500	255 × 160	79	230 × 135	0,46
ARV 081	2	5,5	—	1000—17 000	90	7500	75 × 50	43	65 × 40	0,18
ARV 231	3	10	—	2000—15 000	92	10 000	Ø 101	61	Ø 90	0,36
ART 481	5	0,6	—	3000—17 000	94	13 000	Ø 80	126	126 × 25	1

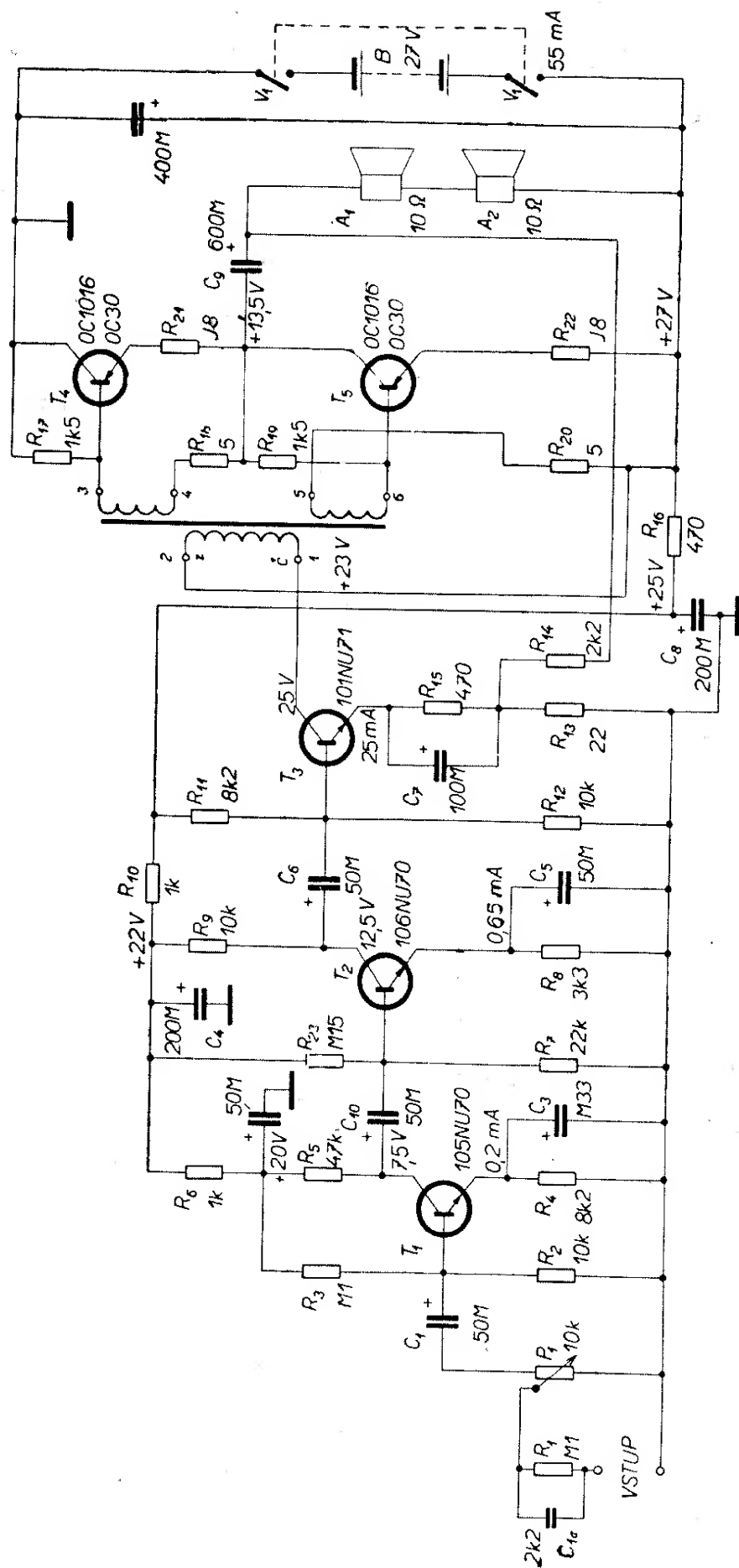


Schéma zapojení zesilovače reprodukční soustavy zn. Jolana, model All-Tran